

# 建築研究資料

*Building Research Data*

No. 157

March 2014

---

---

## 平成 25 年度建築研究所講演会資料

Proceedings of BRI Annual Symposium (FY 2013)

樋野公宏、濱崎仁、武藤正樹、萩原一郎、喜々津仁密、澤地孝男

Kimihiro Hino, Hitoshi Hamasaki, Masaki Muto, Ichiro Hagiwara,  
Hitomitsu Kikitsu, Takao Sawachi

---

---

独立行政法人 建築研究所

Published by

Building Research Institute

Incorporated Administrative Agency, Japan

## はしがき

建築研究所は、建築実務者はもとより広く一般の方を対象として、最新の研究成果等を発表して広く社会に還元するため、建築研究所講演会を毎年 3 月に開催しています。平成 25 年度の講演会は、平成 26 年 3 月 7 日に有楽町朝日ホール（東京都千代田区）において開催しました。

平成 25 年度の講演会では、「これからの建研の役割」をメインタイトルとし、国土交通大臣より示された中期目標における 4 つの研究開発目標の、グリーンイノベーションによる持続可能な住宅・建築・都市の実現、安全・安心な住宅・建築・都市の実現、人口減少・高齢化に対応した住宅・建築・都市ストックの維持・再生、建築・都市計画技術による国際貢献と情報化への対応を、サブタイトル「ーグリーン・安全・ストック活用・情報ー」として設定しました。

講演会では、今後建築研究所が果たすべき役割について、サブタイトルに示した 4 つの研究開発目標に対応させ、グリーン関係として建築物の省エネ性能評価と設計法、安全関係として火災被害の軽減、竜巻被害の軽減、ストック活用関係として高齢化に対応するまちづくり、建築ストックの活用促進、情報関係として建築物確認審査の情報化、の各話題を、建築研究所の研究者が取り組んできた活動の最新情報を交えて報告しました。

本資料は、平成 26 年 3 月 7 日の建築研究所講演会で発表した各話題の成果と発表内容を取りまとめたものです。本資料が、住宅、建築、都市計画に関わる方々をはじめ、広く一般の方々の参考となり、建築や都市の健全な発展の一助となれば、主催者として幸甚に存じます。

平成 26 年 3 月

独立行政法人建築研究所 理事長  
坂本 雄三

## 概要

本資料は平成 26 年 3 月 7 日の建築研究所講演会の内容と成果を取りまとめたものである。講演会では、「これからの建研の役割」をメインタイトル、「グリーン・安全・ストック活用・情報」をサブタイトルとして設定し、今後建築研究所が果たすべき役割について、建築研究所の研究者が取り組んできた活動の最新情報を交えて以下の内容を報告した。

- ・ 高齢化に対応する安定した地域居住のためのまちづくり手法
- ・ 制度的・技術的側面からみた建築ストック活用促進のための研究
- ・ 建築物の確認審査における電子申請対応と BIM 応用の可能性
- ・ 火災被害軽減に向けた取り組みの現状と課題
- ・ 建築物の竜巻被害軽減に向けた研究と課題
- ・ 建築の省エネ性能評価と設計法の今後

## ABSTRACT

These proceedings summarize the BRI Annual Symposium held on March 7, 2014.

The Building Research Institute (BRI) Annual Symposium entitled “Future Role of BRI: Green, Safe, Practical Use of Building Stock and Information” was held on March 7, 2014. In this symposium, the future role that BRI is to fulfill and the latest information of research and various activities including international training the BRI researchers have tackled were reported.

The titles of presentations are as follows;

- Study on Community Building for Stable Living of Elderly People
- Study on the Promotion of Practical Use of Building Stock from Institutional and Technical View Points
- Possibility of E-submission and BIM Technologies' Application in the Building Certification
- Current Status and Subjects towards Fire Damage Reduction
- Research and Future Issue for the Mitigation of Tornado-induced Damage to Buildings
- Perspectives on the Methods of Performance Evaluation and Design for Energy Efficient Buildings

## 目次

高齢化に対応する安定した地域居住のためのまちづくり手法 住宅・都市研究グループ 主任研究員 樋野 公宏	1
制度的・技術的側面からみた建築ストック活用促進のための研究 材料研究グループ 主任研究員 濱崎 仁	9
建築物の確認審査における電子申請対応と BIM 応用の可能性 建築生産研究グループ 主任研究員 武藤 正樹	25
火災被害軽減に向けた取り組みの現状と課題 防火研究グループ長 萩原 一郎	37
建築物の竜巻被害軽減に向けた研究と課題 構造研究グループ 主任研究員 喜々津 仁密	49
建築の省エネ性能評価と設計法の今後 －既存技術の向上と普及に向けた革新的技術開発の重要性－ 環境研究グループ長 澤地 孝男	67

# 高齢化に対応する 安定した地域居住のためのまちづくり手法

住宅・都市研究グループ 主任研究員  
樋野 公宏



# 高齢化に対応する 安定した地域居住のためのまちづくり手法

住宅・都市研究グループ 主任研究員 樋野 公宏

## 目次

- I 研究の背景と目的
- II 高齢者の生活行動に関するアンケート調査
  - 1) 調査概要
  - 2) 買い物行動
  - 3) 居場所
  - 4) 地域活動
- III 事例にみる地域居住支援のポイント
  - 1) 買い物支援（福山市）
  - 2) 居場所づくり（新潟市）
  - 3) 地域活動（板橋区）
- IV おわりに

## I 研究の背景と目的

わが国においては、世界的に見ても急激な高齢化が進展している。しかし、車利用者を主対象とする施設が多い地区では、買い物や福祉・医療などの生活サービスを十分に享受できない高齢者等の増加が問題視されている。市場だけに任せるとこの問題はさらに悪化しかねず、市場のみに依存しない対策の検討と、その前提となる実態把握が求められる。一方、高齢者等の活力ある暮らしや社会保障費抑制の観点からは、介護予防の一層の取り組みが必要である。とりわけ、高齢者等が長時間を過ごす地域社会においては、上述した利便性の確保と合わせて、犯罪や事故から安全に歩ける環境づくりや、社会参加の機会の確保を通じて、高齢者等の外出を促す取り組みも求められる。

建築研究所ではこうした課題を高齢者等の安定した地域居住に係る課題として捉え、重点的研究開発課題「高齢者等の安定した地域居住に資するまちづくり手法の検討」（H23-25年度）を実施し、アンケート調査から高齢者の生活行動実態を把握するとともに、事例調査から高齢者等の健康的かつ利便性の高い

生活を支える手法を検討してきた。

本稿では、当該研究で実施した調査結果の一部として、高齢者の生活行動に関するアンケート調査と、高齢者等の地域居住を支える事例調査の結果について報告する。

## II 高齢者の生活行動に関するアンケート調査

### 1) 調査概要

図1に示す①～④の都市類型に基づき、中心部、郊外部など、異なる特性を有する地区の高齢者を対象とするアンケート調査を実施し、買い物、福祉・医療を含む各種サービスのニーズ及び利用実態、生活実態、地区レベルでの外出を促進・阻害する要因（犯罪不安、交通安全等）を把握した。

23年度は大都市圏郊外（図1①に対応）として町田市の郊外計画住宅地、地方中核都市（同②）として新潟市の中心市街地とその郊外計画住宅地（計3地区）、24年度は地方中小都市として橿原市（同③）と周南市（同④）の各中心市街地とその郊外計画住宅地（計4地区）の計7地区を対象地区に選定した。

本稿では、必需外出として買い物、自由外出として「特に予定の無い時でも気軽に足を運べる場所」(居場所)の利用と地域活動に注目し、分析で得られた主要な知見を紹介する。

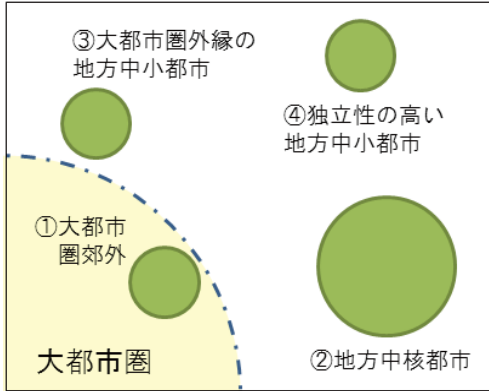


図1 アンケート調査対象の都市類型

表1 アンケート調査概要

	抽出方法	地区名	配布	回収	%
東京都 町田市	要介護3以上を除外した上で無作為抽出	郊外部 (鶴川団地)	1,500	890	59.3
新潟県 新潟市	町丁目による層化無作為抽出	中心部(古町下町地区)	1,100	708	64.4
		郊外部 (松浜地区)	1,100	700	63.6
奈良県 橿原市	無作為抽出	中心部 (八木地区)	750	411	54.8
		郊外部 (菖蒲地区)	750	506	67.5
山口県 周南市	要介護3以上を除外した上で無作為抽出	中心部 (徳山地区)	750	386	51.5
		郊外部 (周南団地)	750	457	60.9
合計			6,700	4,058	60.6

※町田市、新潟市はH24.3実施、橿原市、周南市はH25.3実施

## 2) 買い物行動

買い物は高齢者の主な外出行動のひとつであり、食生活に直結するため、その健康に大きな影響を及ぼす。買い物頻度別に、ほぼ毎日三食をとっている割合、栄養バランスが良くないと思う割合を見ると、いずれも買い物頻度が高いほど状況の良いことが分かる(図2,3)。特に買い物頻度が週1回以下になると、欠食が多く、栄養バランスも良くないと感じる人が多い。

この買い物頻度を地区別に集計すると、いずれの都市でも中心部より郊外部の低いことが分かる(図4)。この理由の一つとして、郊外部では買物の交通手段として自動車を使う高齢者が多いことから説明される。郊外部で買い物時に自動車を利用

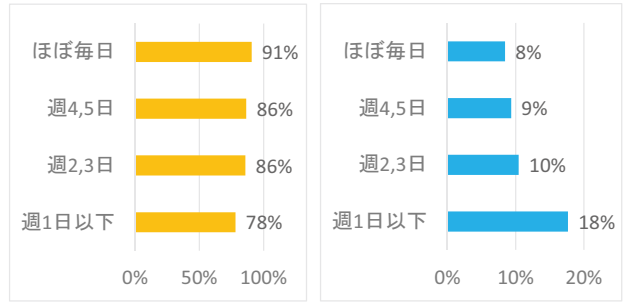


図2(左) ほぼ毎日三食をとっている割合(買い物頻度別)

図3(右) 栄養バランスが良くないと思う割合<sup>1</sup>(買い物頻度別)

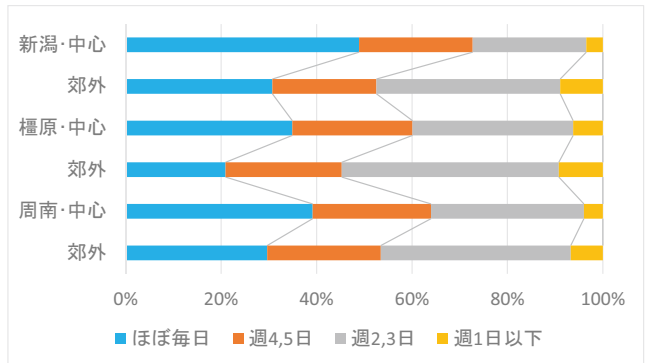


図4 地区別に見た買い物頻度(町田市除く)

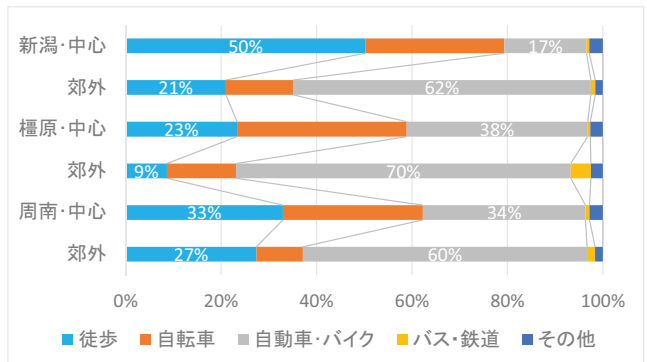


図5 買い物に行く時の交通手段<sup>2</sup>(町田市除く)

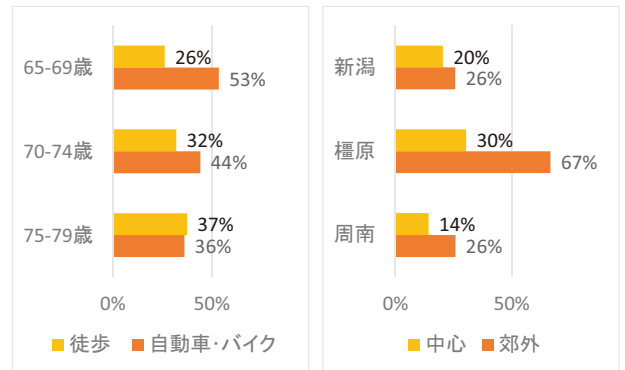


図6(左) 年齢別に見た買い物に行く時の交通手段

図7(右) 徒歩で買い物に行く人のうち片道15分以上かかる割合



する割合は新潟 62%、樺原 70%、周南 60%と、いずれも中心部の数字を大きく上回る（図5）。自動車を使うとまとめ買いができるため、低頻度の買い物で済むのである。

しかし、加齢に伴い身体機能が低下するため、自動車に頼る生活をいつまでも続けられるわけではない。実際、65-69歳の53%は自動車・バイクで買い物に行っているが、75-79歳では36%に低下する。一方、徒歩で買い物に行く割合は26%から37%に増加する（図6）。しかし、郊外部では徒歩圏に店舗がないため、徒歩では15分（約1km）以上掛けて買い物に行かざるを得ない高齢者も多い（図7）。あるいは、自動車を使い続けるとしても、事故防止のためにできるだけ頻度を減らそうとするだろう。

以上から、身近に店舗がない地区の高齢者は、利便性の高い地区と比べて頻繁に買い物に行くことができず、健康を損なう可能性が高いと考えられる。今回の対象地区で言うと、新潟市の中心部のように自動車の利用割合が低い地区を目指すべきであるが、郊外部の買い物難民をどう救うかが喫緊の課題である。

### 3) 居場所

図8に示す通り、多くの人は加齢に伴い健康状態（主観的健康感）が悪くなる。そうなっても地域で生き生きと暮らせるために「特に予定の無い時でも気軽に足を運べる場所」（以下「居場所」）があることが望ましい。主観的健康感について（あまり）健康でないと回答した高齢者であっても、居場所の有る人は男女とも外出頻度が相対的に高い（図9）。会話頻度も同様だが、特に男性において居場所の有無による差が顕著である（図10）。

そのような居場所とはどのような場所であろうか。調査では自由記述で回答してもらい、テキスト分析により類型化した。居場所は極めて多様であるが、男女によって好みに傾向があり、男性は公園・自然（C）、女性は店舗や商業施設（A1-A3）を回答する人が多かった（図11）。また、居場所に行く理由も、男性は「自分の好きなことができる」「駐車場・駐輪場の利便がよい」、女性は「行けば顔なじみがいる」「ついでに立ち寄る場所が多い」という回答が多いのが特徴的である。また男性に「駐車場・駐輪場の利便性」、女性に「公共交通の利便性」を選んだ人が比較的多いことは、自動車の利用状況を反映していると考えられる（図12）。詳細に見ると、男性は図書館や自然環境などひとりになれる場所、女性はショッピングや人と会える場所を好むようである。ただし男女とも半数以上が「自宅から近い」を選択しており、身近な地区にそうした場所があることが望まれる。

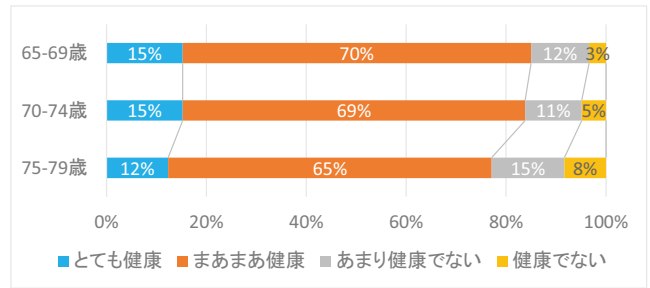


図8 年齢別に見た主観的健康感

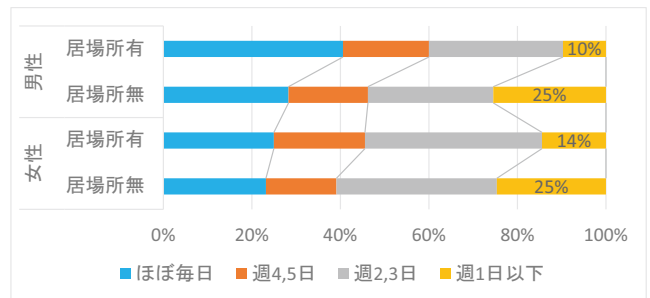


図9 性別・居場所の有無別に見た外出頻度<sup>3</sup>

（主観的健康感が「健康でない」「あまり健康でない」回答者）

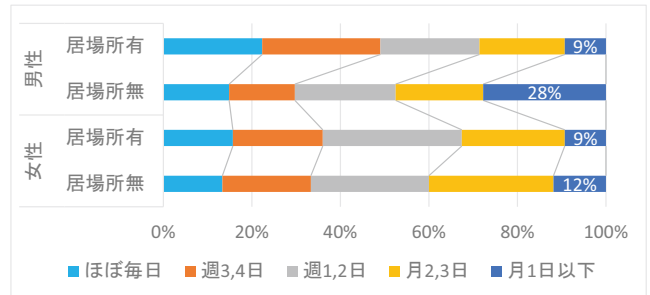


図10 性別・居場所の有無別に見た家族以外との会話頻度

（主観的健康感が「健康でない」「あまり健康でない」回答者）

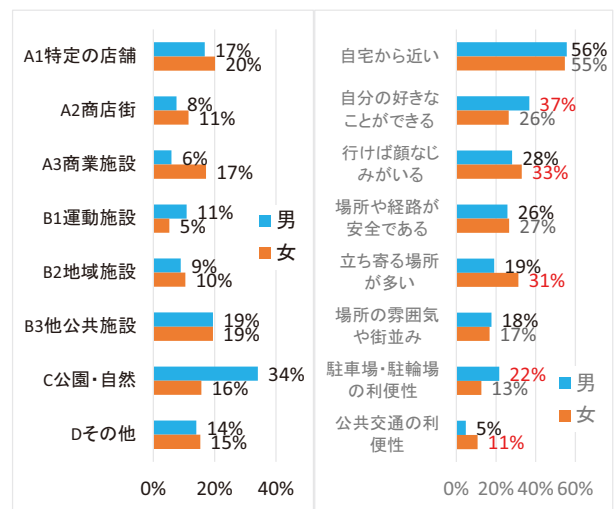
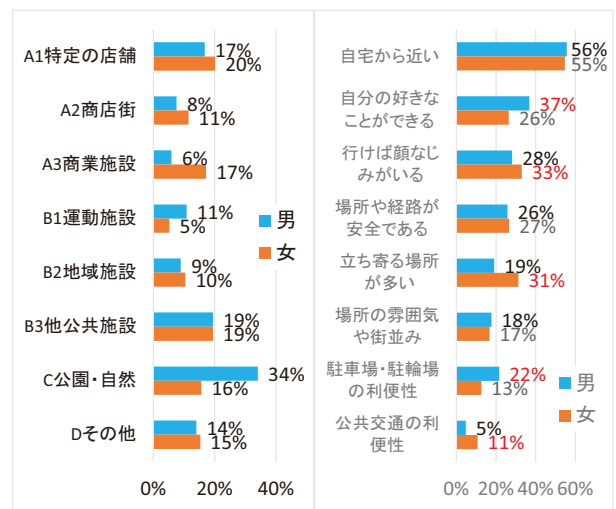


図11 (左) 男女別に見た居場所の種類

図12 (右) 男女別に見た居場所に行く理由（上位項目のみ）<sup>4</sup>



さらに居場所の類型を地区別に見てみる（ここでは町田市を除く3市の中心部を「地方中心」、郊外部を「地方郊外」とする）。まず地方中心では商業系（A1-A3）や図書館など（B3）が多く、地方郊外では公民館などの地域施設（B2）、運動施設（B1）や公園・自然（C）といった身体を動かせるところが居場所になっている（図13）。先に見た男女別の居場所の好みからすると、地方中心は女性向き、地方郊外は男性向きと言える。これにより、中心部で居場所のある割合は女性の方が高いのに対し、郊外部では女性が男性を大きく下回っている（図14,15）。

以上から、特に郊外部において、高齢女性のニーズに応える居場所をどう確保、運営するかが課題と言える。

#### 4) 地域活動

健康状態が悪化しても地域で生き生きとした暮らしを送るために、地域活動に参加することが望まれる<sup>5</sup>。先の居場所と同様に分析したところ、主観的健康感について（あまり）健康でないと回答した高齢者であっても、地域活動に参加する人は外出頻度、会話頻度が相対的に高い（図16,17）。

しかし、地域活動に参加している高齢者の割合は、「積極的に参加」9%、「まあまあ参加」20%とあまり高くなく、「意欲はあるが参加していない」が約4割を占める。居場所と同様、身近

な地区に地域活動の機会を創出し、こうした層の参加をどう促進するかが課題となる（図18）。

ちなみに、地区による活動内容の差を見ると、中心部では「まちづくりのための活動」が多く、郊外部では「高齢者を対象とした活動」のほか「安全な生活のための活動」などが多い（図19）。

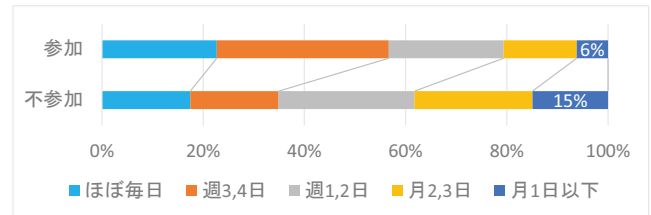


図16 地域活動の参加状況別に見た外出頻度

（主観的健康感が「健康でない」「あまり健康でない」回答者）

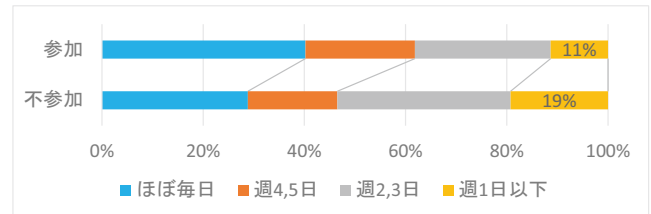


図17 地域活動の参加状況別に見た家族以外との会話頻度

（主観的健康感が「健康でない」「あまり健康でない」回答者）

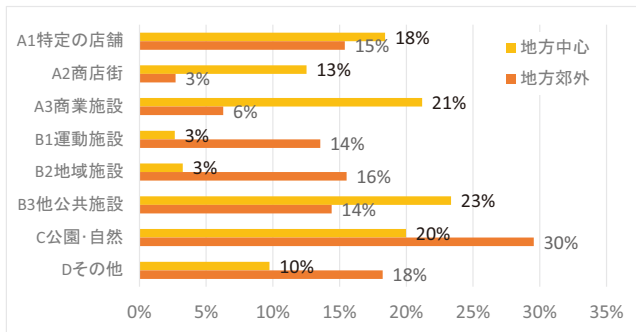


図13 地区別に見た居場所の類型（町田市除く）

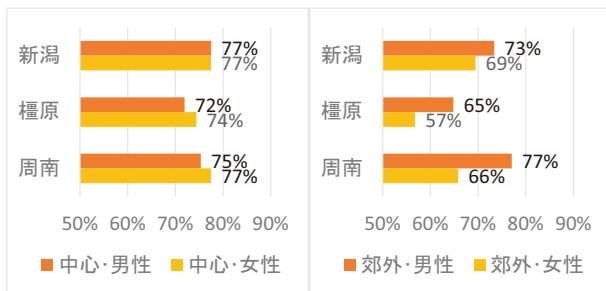


図14 (左) 男女別に見た居場所を持つ割合（中心部）

図15 (右) 男女別に見た居場所を持つ割合（郊外部）

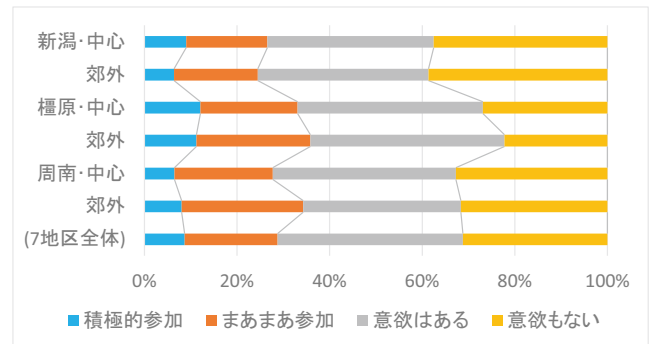


図18 地区別に見た地域活動への参加状況

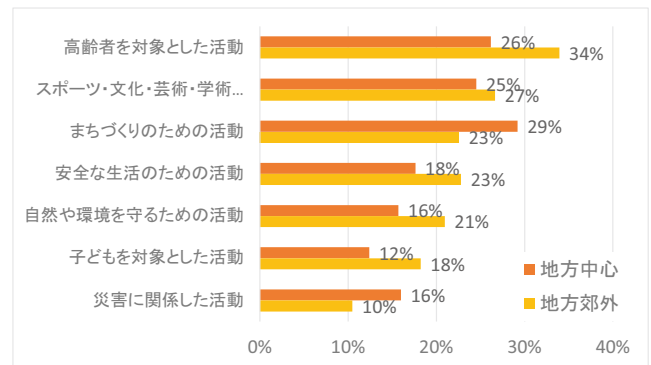


図19 地区別に見た活動内容

### III 事例にみる地域居住支援のポイント

本章では地域が運営主体となる生活サービスの先進事例として、買い物施設（店舗）および地域の居場所を一事例ずつ取り上げ、その取り組み概要、体制・資金面でのポイントを整理する。また、高齢者が主たる担い手となる地域活動として、公園の維持管理活動の事例を取り上げ、参加者および地域に与える影響を考察する。

#### 1) 買い物支援（福山市）

##### <取り組み概要>

広島県福山市熊野町は、古くからの農村集落地域であり、路線バスによる公共交通の利便性が低く、買い物先は地元店舗が中心であった。2008年、JAからの委託により経営していたスーパーが経営不振により閉店した。閉店後、移動販売や生協の宅配などは利用できたものの、2011年の住民学習会の開催をきっかけに、さらなる高齢化、バス路線の廃止などによってコミュニティの維持や日々の買い物が困難になるという危機感が高まった。

2012年2月、自治会連合会長、副会長、常任委員、公民館長による検討を経て、公民館長は市（南部生涯学習センター）に対し「ふれあいの場」づくりの構想を説明、市の「住民参加型施設等整備事業」申請に向けた支援を依頼した。4月には8名の設立準備会を立ち上げ、7月、スーパーの空き店舗（約200㎡）に「熊野学区ふれあい広場クローバー」が開店した。

クローバーには店舗と「ふれあい広場」の2つの機能がある。店舗では、生鮮食料品や飲料、菓子、地元の野菜や果物、生活雑貨、高齢者のみ世帯向けの弁当や総菜を販売している。一方、「ふれあい広場」では、高齢者向けの公民館の出前講座を開催している。また、小学校や保育園と協力して作品の展示スペースを設けるなどして、幼児と保護者、放課後の小学生など多様な世代が気軽に利用できるようにしている。

##### <体制面のポイント>

クローバーの運営主体は自治会役員を中心とした運営委員会（運営委員長以下15名）であり、地域とのつながりが強く、地域の住民や業者、小学校等の協力が得やすかった。また、公民館が会議室や印刷機を提供したり、補助金申請・利用に伴う事務作業を支援したことも大きい。

一方、店舗運営は、正副店長、レジ担当12名を含むスタッフによる。スタッフは、上述の運営委員会と住民ボランティアの計28名であるが、経営については素人であるため、税理士、レジ業者や納品業者が助言している。スタッフの平均年齢は69歳

であり、今後の後継者の育成が課題と言える。

##### <資金面のポイント>

開設時には、旧店舗を委託経営していたJAが空き店舗と設備を提供し、施設整備費は市「住民参加型施設等整備事業」による418万円の補助金を受けた。さらに、自治会からも資金を借用し、地域のボランティアや小学校児童などの協力により旧店舗の片付け、内装工事、電気工事、塗装工事等が行われた。このように、空き店舗の活用、補助金の活用、ボランティアの協力が開設期において重要であった。

開設後も家賃は無料とされ、スタッフの人件費も無償である。地産品販売の委託手数料（価格の1割）や会費が主な収入であるが、水道光熱費等の運営費支出に必要な毎月約13万円の売上を継続することが課題である。



写真1 クローバー（福山市）の外観



写真2 クローバー（福山市）の売り場

#### 2) 居場所づくり（新潟市）

##### <取り組み概要>

新潟市北区の松浜本町地区は、新潟市郊外にあって、昭和40年代から土地区画整理事業などにより整備されてきた戸建て住宅地である。そこに立地する松浜本町商店街とその周辺は、市の総合計画（2007年）で、日常生活の中心区域となる「生活拠

点」に指定されている。また「北区拠点商業活性化推進事業計画」では「商店街の賑わい創出と市民の日常生活における利便性の向上」を図る「拠点商業地活性化区域」にも位置づけられている。

この商店街に「松浜こらぼ家」がオープンしたのは2010年7月である。名称には、「まち全体、老若男女、いろんな組織でコラボ (collaboration) しよう」という思いが込められている。

建物は商店街の入口に立地し、もとはこの地区の庄屋（酒井家）の分家だった。テナントだったお茶屋とカメラ屋の閉店後は、ベニヤ板が張られた状態で見栄えも悪く、商店街でも対策が検討されていた。市の「水と土の芸術祭 2009」でそこが展示場の1つとなったことを契機に、2011年のアートフェスタ（「水と土の芸術祭 2012」のプレイベント）開催に向けて地域のやすらぎの場として活用しようという気運が高まり、2010年の開所につながった。

建物正面は通行人から内部が見通せるガラス戸として、中に入りやすいように工夫されている。内部には土間、和室、図書コーナーがあり、買い物途中の休憩やバスを待つ間など自由に利用できる。展示会や作品展、各種教室、社会福祉協議会による軽体操や講座などの催しを開催するほか、休日は各種団体、サークル等にも貸し出している。

利用者数は月に300～400人程度であり、高齢女性と放課後の小学生の利用が多い。高齢者にとっては、子どもたちが遊ぶ姿を見たり、新たな人間関係を作ったりする場として喜ばれている。II章のアンケート調査でも、新潟市郊外部では、地区内に居場所があるという回答者303人のうち39名（13%）が松浜こらぼ家を挙げた。

#### <体制面のポイント>

こらぼ家の運営は、商店街組織（任意団体）の一部会「こらぼ家部会」が担う。建物所有者は「商店街組織が借り主であれば」ということで賃借を認めてくれている。部会は館長、会計、スタッフ2名で構成され、別の部会で作成する商店街のかわら版を通じて、活動が地域に周知されてきた。高齢者の利用が多いことから社会福祉協議会と連携し、月1回の健康体操や防犯講話などが開催されている。

#### <資金面のポイント>

建物の改修等に当たっては市の「がんばるまちなか支援事業」の補助（補助率2/3）を受け、残りは商店街で出資金を集めた。開所当時は、市の補助を受けて、有償スタッフも雇用していたが、現在は無償のボランティアスタッフ2名で運営している。

会計は商店街から独立している。家賃は市の「空き店舗対策事業」より補助されているが5年間限りの予定である。コーヒー販売や施設利用料が収入となるが、人口規模が小さく高齢化が進む地区では採算をとるのが難しい状況にある。



写真3 松浜こらぼ家（新潟市）の外観



写真4 松浜こらぼ家（新潟市）内部の様子

### 3) 地域活動（板橋区）

#### <取り組み概要>

けやきの公園は、東京都板橋区の南部、東武東上線ときわ台駅から徒歩10分に位置するマンションや戸建住宅に囲まれた公園である。公園の土地は工場併用住宅の跡地で、相続に伴い売却予定であったが、住民の要望により区が取得し「板橋区木造賃貸住宅地区整備促進事業」を活用して防災公園として2000年4月に整備された。

整備にあたっては、板橋区として初めて住民参加による公園づくりに取り組み、1999年から2000年にかけて9回のワークショップが行われた。整備後は「板橋区地域がつくる公園制度」による協定に基づき、ボランティア団体「グループけやき」が区と協働で管理（アダプト活動）を行っている。団体の活動に対し、区は用具購入等に必要な活動費を助成している。

グループけやきでは、毎週日曜の朝、公園の清掃・除草、設

備や柵の簡易な補修等を行っている。参加者は高齢者を中心に15名程度であり、定例日以外も自主的に活動する人が多い。こうした日常的な管理に加え、七夕まつり、陽だまりコンサート、防災体験など年間8つのイベントを開催している。また、グループけやきとは別に、花づくりグループ「さくらの会」が花壇の手入れ、寄せ植え講習会などを行っている。こうした活動は、地域の小学校、町会、商店会や企業との協働で行われ、会報やホームページによって地域に広報されている。

#### <参加者に与える影響>

グループへの入退会は原則自由で、参加を強制することなく、無理のない範囲での活動を行っている。退職男性が地域参加する場として機能している側面もあるが、経歴や身分などをあまり口にせず、対等な関係づくりに努めている。そのため、毎週の活動後は、お茶とお菓子で気軽な世間話ができ、次の活動の発想に繋がっている。こうした世間話ができるのは、公園の計画が住民参加で行われ、住民の声を受けて、詰め所となる広めの倉庫を区が設置したことに因るところが大きい。詰め所が参加者の「居場所」として機能している。

活動開始から十数年が経ち、当初のメンバーも高齢化し、亡くなった方もいる。しかし、身体を悪くして活動を手伝えなくなった方でも、会話を楽しみに来る方が多く、閉じこもり防止になっている。また、活動が介護予防や病後のリハビリとして機能している面もある。

このように高齢者の外出促進や生きがいに寄与するところが大きい。ただし、30,40代の参加は少なく、次世代の育成が最大の課題と言える。

#### <地域に与える影響>

けやきの公園は、他に比べて清掃・美化の水準が極めて高く、また住民向けのイベントが定期的に開催されるなど、グループけやきの活動が地域に与える好影響は大きい。

一方、樋野・小出(2005)のけやきの公園を含む公園の調査および住民意識調査の分析から、清掃・美化が領域性の確保や破壊行為の抑止に繋がり、利用時の安心感を生んでいることを明らかにしている。このように、公園のアダプト活動は防犯まちづくりの観点からも評価され得る。アダプト団体が普段の活動から防犯の視点を意識することで、地域住民の安心感はさらに大きくなると考えられることから、団体に対して防犯講習会を実施するなどの啓発活動を行うことが有効と考えられる。



写真5 けやきの公園(板橋区)の活動風景



写真6 区と団体の協定を示すアダプトサイン

## IV おわりに

本稿の前半では、高齢者の生活行動に関するアンケート調査の分析結果から、新潟市の中心部のように歩いて暮らせるコンパクトな街が買い物、居場所の観点からも望ましいことを示したが、特に郊外部でこうした機能をもつ施設をどう運営するかが大きな課題として浮かび上がった。また高齢者にとっての居場所や地域活動の意義、多様な居場所の必要性を示した。これらを含むアンケート調査の結果は建築研究資料として出版し、建築研究所ホームページでも公開している。

後半では、買い物支援、居場所づくり、地域活動について一事例ずつ概要と要点を紹介した。本研究開発課題では他にも同様の事例調査を行っており、調査結果を踏まえた各施設の運営手法、犯罪・事故から安心して歩けるまちづくり手法、都市ストックの維持管理への参加促進手法は「高齢者等が生き生きと暮らせるまちづくりの手引き」として取りまとめている(今春公表予定)。手引きは、住民やNPOなど地域の共助による課題解決、基礎自治体による各種支援策の展開や、各種計画(総合計画、都市計画マスタープラン、住宅マスタープラン等)の策定・改正の検討に活用・反映されることを想定している。

本研究開発課題の成果を踏まえ、来年度からは健康長寿社会

に対応したまちづくりの計画・運営手法を検討する予定である。本課題では地区を中心部、郊外部の2つに区分したが、来年度からの課題ではよりミクロな町丁目レベルに着目し、都市・地域環境と高齢者の活動との関係についてのエビデンス獲得を目指す。

#### 謝辞

本研究のアンケート調査、事例調査にご協力いただいた皆さまにこの場を借りて御礼申し上げます。また、「高齢者等が生き生きと暮らせるまちづくりの手引き」作成に当たっては、外部有識者から成る検討会を設置し、助言ならびに作成協力をいただきました。検討会委員を務めてくださった後藤純氏（東京大学）、鈴木雅之氏（千葉大学）、橋本成仁氏（岡山大学/建築研究所客員研究員）、松村博文氏（北方建築総合研究所/建築研究所客員研究員）、松本真澄氏（首都大学東京）に御礼申し上げます。

#### 脚注

- 1 「栄養バランス良く食べていると思いますか」という質問に対し、「そうでない」「どちらかと言えばそうでない」と答えた割合の合計。
- 2 自動車・バイクは「自分が運転する自動車」「自分以外が運転する自動車」「バイク・スクーター」の合計。その他には「車いす、電動車いす」「タクシー」「店舗の送迎バス」を含む。
- 3 選択肢「週1日程度」「月に2,3日程度」「月に1日以下」をまとめて「週に1日以下」とした。
- 4 10種の選択肢から3つまで選んでもらった。その他の選択肢は「スタッフの対応がよい」「提供されるサービスが良い」の2つ。
- 5 「地域活動・ボランティア活動に参加していますか」という質問に対し、「積極的に参加している」「まあまあ参加している」と答えた方を「参加」とし、「意欲はあるが参加していない」「参加しておらず、意欲もない」を「不参加」とした。
- 6 樋野公宏・小出治「住民による管理活動が公園の犯罪不安感に与える影響」、日本建築学会計画系論文集、No. 592、pp 117-122、2005年6月

制度的・技術的側面からみた  
建築ストック活用促進のための研究

材料研究グループ 主任研究員  
濱崎 仁





# 制度的・技術的側面からみた 建築ストック活用促進のための研究

材料研究グループ 主任研究員 濱崎 仁

## 目次

- I はじめに
- II 建築ストック活用の流れと活用に向けた課題
  - 1) ストック活用の時代背景と諸課題
  - 2) 技術面での課題
  - 3) 制度面での課題
- III 建築研究所の取り組み
  - 1) 建築研究所における最近の研究テーマ
  - 2) 各分野のこれまでの研究概要
- IV 建築ストック活用に必要な技術開発・評価
  - 1) あと施工アンカーの長期的性状
  - 2) 耐久性を確保するためのかぶり厚さ確保
  - 3) 建築ストック活用の手続きのための建物調査・確認
- V おわりに
- 参考文献

### I はじめに

建築ストックの活用の促進に関しては、近年の社会的な課題となっており、これまでも様々な検討が進められてきた。さらに一昨年の中央道笹子トンネルの事故を契機に、高齢化した社会インフラの更新や維持管理の重要性が叫ばれている。

建築ストックを活用することには、新築に比べて経済的な優位性があること、利便性の高い恵まれた立地を活用できること、既存建物の解体や新築に伴う環境負荷を低減できること、歴史的構造物や土地・建物への愛着といった文化的・精神的な価値など様々な意義がある。

また、公営住宅などは主に財政的な理由から、既存のストックを活用して長く使わざるを得ない状況にある。一例として、図1に公営住宅の新設と建替えの戸数の推移を示す(国土交通省調べ)。公営住宅のストック数は、近年210~220万戸ほどで推移している。建設のピークは1960年代の高度経済成長期にあり、年間10万戸程度が供給されていたが、その後新設は減少し、

既存住棟の建替え・更新が増加し、近年建替えのペースは年間2万戸弱で推移している。この結果、既存のストック数を維持しようとするれば、当初想定されていた50~60年程度の供用期間を超えて100年間程度は使い続けなければならないことになる。

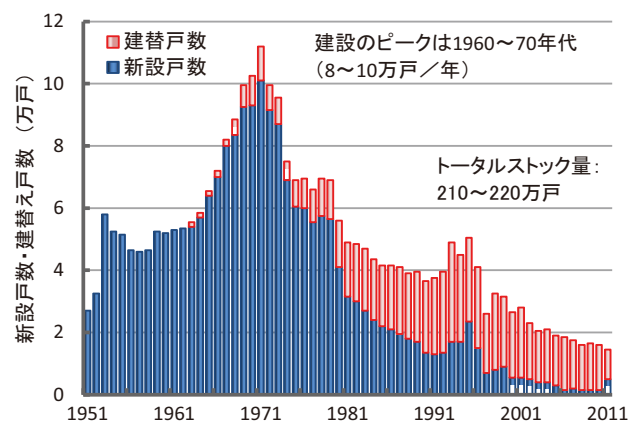


図1 公営住宅の新設・建替え戸数の推移 (国土交通省調べ)

しかも、建設のピークが建築後 50～60 年を迎える時期は間近に迫っており、こうした状況への対応が喫緊の課題となっている。

建築ストックの活用には、安全性や耐久性、快適性などを確保・向上させるために必要な技術的な課題と、これらの技術を適用しようとする際に問題となる関係法令や社会制度などの制度的な課題がある。建築研究所では、これらの課題に対し、様々な分野からの研究開発に取り組んできた。

本稿では、建築ストックを活用する上での課題等や、建築研究所のこれまでの取り組みの概要を紹介した上で、法令に関わる技術基準を補完、具体化するための技術的検討を行っている事例について紹介したい。

## II 建築ストック活用の流れと活用に向けた課題

### 1) 建築ストック活用の時代背景と諸課題

ストック活用というキーワードは、コンバージョン（用途転

用）という用語とともに、2000 年頃から一般的に使われ出したはずである。ただし、公営住宅等ではそれ以前から住戸改善等のストック活用が行われていた。また、既存の建物を活用するという点では、阪神・淡路大震災の被災建物の更新や活用が問題となっていた。

表 1 にストック活用につながるこれまでの流れとそこで問題となってきた主な事項についてまとめた。ストック活用を考える場合、用途の変更を伴う場合と、用途変更を伴わない所謂グレードアップに相当する工事もあり、最近ではグレードアップによって建物を長く使うという考え方も浸透してきた。

1995 年の阪神・淡路大震災の被災建物の再生については、特に集合住宅で問題となり、区分所有法の改正などの動きに繋がった。また、耐震改修促進法もこの年に制定されている。

2000 年代の前半には、オフィスビルの 2003 年問題もあり、オフィスビルから他用途へのコンバージョンの需要が高まった。

表 1 既存ストック活用のための用途変更・バージョンアップ等の流れと問題点

時期	背景	再生のニーズ・パターン	主な問題点	関連法令等の動き	
1995 頃～	阪神・淡路大震災	被災したマンションの再生	・再生/建替えの判断、合意形成	【区分所有法 第 17 条 共用部分の変更】 改修工事/増築/建替え等の決議要件	ハートビル法制定 (95) 耐震改修促進法 (95)
～ 2003 頃	2003 年問題	オフィスビル →共同住宅	・採光の確保 ・敷地内通路の確保 ・窓先空地の確保	採光規定【建法 28-1、建令 19】 規定なし→居室 1/7 以上 【東京都建築安全条例 第 17 条】 共同住宅等の主要な出入口と道路 【東京都建築安全条例 第 19 条】 共同住宅等の居室	住宅品確法制定 (99) 建基法性能規定化 (00)
～ 2005 頃	地方都市の人口減少・景気減退	大規模店舗→公的機関(分庁舎等)	・地権者との合意形成・民間のニーズとのマッチング	行政のサポートがなければ改修コストを回収できない可能性が高い。	建基法既存不適格合理化 (05)
～ 現在	空き住戸の増加、多様な居住者・利用者のニーズ	住戸空間の変更(空間拡大)、間取りの変更 ピロティ空間の活用 居室の利用形態の変更	・補強技術(開口部の補強) ・床面積の増加 ・用途変更	法令上の規定にない補強方法の取り扱い 建物の実状は変わらないのに、法令の扱い上の面積や荷重、各種規定が変わる	バリアフリー法 (06)
	少子高齢化、都心部の人口減少	ELV 新設等のバリアフリー化 公的施設・学校 →高齢者施設・インキュベーション施設等	・集団規定への対応 ・防火、避難規定等への対応 ・教室の間取りの制約	増設日の日影規制への対応、防火、避難規定への対応が困難、旧 38 条認定への対応など 新型特養など高齢者施設の用途によっては教室のグリッド(一般的には 8m×8m)に収めるのが困難。	省エネ法改正 (08)
	景気衰退、企業業績の悪化	企業福利施設 →集合住宅 ホテル・宿泊施設 →高齢者施設・学校	・立地の限定 ・採光の確保 ・積載荷重変更による構造の検討 ・有効廊下幅員の確保 ・敷地内通路の確保 ・窓先空地の確保	都心部のような新築販売価格より格安な価格帯で供給できる地域に限定される 採光規定【建法 28-1、建令 19】 積載荷重【建令 84～86】 寝室 1, 800N/m <sup>2</sup> →(教室 2, 300N/m <sup>2</sup> ) 「有料老人ホーム設置運営標準指導資料」(廊下幅員に関する規定) 【東京都建築安全条例 第 17 条】 【東京都建築安全条例 第 19 条】	長期優良住宅法制定 (08) エコまち法 (12)
	医療の高度化、多様化	病院 →高度医療施設 病棟の増築	・病院稼働中の工事対策 ・増築の扱い	騒音・振動対策 適法化するための不合理な計画(安全性確保、動線など)	

用途変更に伴い建築基準法や条例等の規定が問題になるケースも見られた。特に、東京都建築安全条例における敷地内通路や窓先空地の確保については、その対応に苦慮するケースも多く、最近のアウトフレーム工法による耐震改修計画でも同様の問題が生じている。

2000年代の後半から現在にかけては、景気の減退、少子高齢化などの社会背景から、余剰資産の活用や高齢者施設や医療施設などの社会的なニーズに応じた建物へ転換されるケースが多くなっている。また、集合住宅については、住戸数の確保から多様な住宅の供給へとシフトし、バリアフリー化や住宅の利便性向上のための住戸の大規模な改変を行う事例も増えている。

このような多様な流れに対して、建築基準が必ずしも対応できているとは言い難く、法令やその運用に係る手続きがストック活用の阻害要因となっている事例も見受けられる。

最近の事例としてよく聞かれる点としては、既存のエレベーターの遮煙性能の確保について、改修の実施が構造上難しいことや多額の費用を要することなどが問題として指摘されている。この点については、安全性の確保の意味から何らかの対応が必要になるところであるが、対策の方法やその評価の考え方について、建築研究所の防火関係の研究課題でも検討が行われているところである。

また、改修等を行う場合には、その内容に応じて建物に対する様々な確認・調査とそれに基づいた建築主事等の判断が行われる。その判断については、一律の規定を適用しにくい場合や建物の実状を考慮する場合などがあり、物件によって判断が異なるケースや判断のための事前調査に時間や費用を要するケースも少なくない。その事前の調査や判断の不確実性が、ストックの活用を行う場合のリスクとなり、事業者や設計者が二足を踏んでしまうという要因もある。この点については、既存建物を活用するにあたってのチェックポイントやその判断の目安、調査の方法等について、これまでの調査等を踏まえた提案をする予定であり、詳細については後述する。

## 2) 技術面での課題

ストック活用に必要な技術的な課題については、設計実務者へのストック活用に関する試設計の提案から技術面でのニーズや課題の抽出を行った経緯がある。詳細については、平成22年度の本講演会で紹介<sup>1)</sup>しているのもをそちらをご覧ください。そこで整理した技術面での課題について、表2に再掲させていただく。表2は、既存ストックの再生・活用に必要な技

術開発に関するニーズ、課題をまとめたものである。再生のための改修工事に必要な技術は、構造、材料、環境、防火、計画分野の多岐にわたりどれもが重要な課題である。建築研究所では、このようなニーズに対して、限られた範囲ではあるものの、技術開発を進めてきた。次章以降でその一部を紹介したい。

## 3) 制度面での課題

ストック活用の上で制度面での阻害要因の解決も大きな課題と言われている。制度的な問題には、主に建築基準法およびその関係法令、条例などの法制度に起因することと、融資制度や税制・会計、不動産評価などのような社会制度に起因することの2つがある。

### ①法令に関わる課題

法令関係の課題としては、大規模の修繕・模様替え、増築、用途変更などに相当する場合に、既存建物の不適合部分に現行規定が適及され、そのために改修や増築が滞ってしまうという点が大きな要因となっていることは従前から指摘されている。この既存適及の問題が諸悪の根源のように言われることも少なくないが、本来、法令の制定や改正は安全性や居住性の確保のために必要なものであり、現行規定が求めている性能を満足した建物とすることは、建物の所有者の義務でもある。しかしながら、現行の規定をそのまま適用しようとするとかえって性能を低下させたり、無駄が生じるような不合理が起こる部分もあり、そのような点については、阻害要因として改善が必要であると言える。個々の規定については、これまでも多く指摘されているところであり、ここでの詳細な説明は割愛するが、主な点については表1にまとめたような点が指摘されている。

### ②社会制度に関わる課題

社会制度に関わる課題には、税制、金融、不動産取引など、世の中の様々な仕組みが複雑に関わってくる。また、基本的には経済原則に従った動きとなるため、経済的に有利な方向に向かいやすく、必ずしもストックの活用に向かうわけではない。

既存の建物を活用するに当たり、新築の建物との同等性（イコールフィッティング）が確保されていない点が今後の課題として考えることができる。例えば、優遇税制の内容や条件の違い、流通時における税負担、融資における対象範囲や金融商品の充実度の違いなどが一例として挙げられる。その他、減価償却や不動産流通において建物の品質が反映されにくい点、原状回復義務などのリフォーム工事の取り扱いなども今後の課題の

一つとして考えられる。これらの制度的な課題については、国土交通省の行政施策においても中古住宅の流通促進や長期優良住宅制度の充実、リフォーム工事に対する補助制度などの検討や対応が進められており、建築ストックを対象とした制度の枠組みが整いつつある段階であろう。

### III 建築研究所の取り組み

#### 1) 建築研究所における最近の研究テーマ

建築研究所では、第二期（平成18～22年度）および第三期（平成23～27年度）の中期計画における研究開発目標として、「持続的発展が可能な社会と生活の実現」（第二期）、「人口減少・高齢化に対応した住宅・建築・都市ストックの維持・再生」（第三期）を掲げ、既存ストックの有効活用に関する研究開発を位置

づけ、実施してきた。また、構造安全性や火災に対する安全性の確保、環境負荷の低減などの研究開発目標についても、既存建物に着目した研究開発を行っている。

図2に、既存ストックの活用に関連する建築研究所における最近の研究テーマの一覧を示す。構造、材料、建築生産環境、防火、住宅・都市の各研究グループに関連して研究が進められている。以降、それぞれの研究分野での取り組みについて簡単に紹介したい。なお、下記の技術開発の内容については、これまでの建築研究所講演会などで発表しているものでそれらを参照いただきたい。（平成14年以降の講演会資料は建築研究所ホームページ（<http://www.kenken.go.jp/japanese/research/lecture/index.html>）より入手可能）

表2 ストック改修の設計提案からまとめたストック再生に求められる技術的課題

テーマ・目的	設計メニュー	必要な要素技術・方法	求められる技術・問題点
A. バリアフリー化	共用階段改修	既存階段の撤去 階段の新設	躯体切筋技術、切筋面の処理 設置方法（自立・壁付け・吊構造等）、耐火・構造安全性確保
	共用廊下改修	階段室側への廊下の新設	桁行方向の壁量不足の問題、設置方法、耐火安全性
	EV設置	住棟の外への自立	設置方法（構造的な問題）、既設埋設管の処理、集団規定（日影規制等）の制約
		住棟内部（階段室）に組み込み	玄関スペースの確保、シャフト内の防音、構造的な問題（連続したスラブ開口）
	スロープ設置	1F エントランス廻り 南側バルコニー	水平距離の確保、既設埋設管の処理、基礎梁との干渉
B. 住戸規模・規格の多様化	増築	1階南側への増築	既存住棟との取合い、基礎梁の干渉・切除
		ピロティの屋内化	住棟機能との関係、異種用途となる場合の消防区分・法適用の範囲の変更
	水平2戸1化	バルコニー等経由での規模拡大	断熱境界線、法的取扱い不明瞭
		戸境壁開口による規模拡大	構造的な影響の確認、切筋面の処理（定着・耐久性）、間取り変更に伴う下階住戸への騒音対策
	垂直方向空間拡大	床スラブ開口（メゾネット化）	開口可能範囲の検討、開口周辺部の補強・定着、面積効率の悪化（事業的な検討）
		梁下躯体高さ増加	小梁せいの低減に伴う補強方法
間取り変更	水回り位置変更	設備配管・ダクトの位置変更の制約（段差、既存配管、梁貫通等）、屋上伸直通気管の位置変更に伴う防水処理	
減築	上層部を一部除却	切筋面の処理（定着・耐久性）、防水処理、耐久性上の取り扱い（屋内部材の屋外化等）	
C. 住棟性能向上	耐震改修（補強型）	壁追加、ブレース追加	居住性の確保、普及型（簡易・安価）の耐震補強方法の開発
	耐震補強（荷重減少）	減築	構造バランスへの配慮とその評価方法
	耐久性向上	かぶり増し厚	かぶり厚さの考え方（法的取扱い）、長期的な性能の検証、防耐火性の確認
	断熱改修	外断熱施工、サッシ改修	断熱性のバランス（局部的な結露等）、躯体の不陸への対応
	居住性向上	スラブたわみ、振動防止	室内空間を確保した上での補強方法
D. 利便・アメニティ向上	施設併設	集会所等の整備	プライバシーの確保
	コモンスペース整備	自転車、駐車場、広場等の設置、外構改修	良好な住環境（緑地等）と利便性（駐輪・駐車場等）との両立
	空間構成再編	新築住棟と併せて再編	周辺への配慮（日影等）、団地認定等の法的取扱い
E. デザイン改修	ファサード更新	バルコニー等の増設	外壁面での固定の方法（あと施工アンカー）、脱落防止措置
	屋根形状更新	屋根材等の新設	荷重、防耐火性の確認、施工方法
	緑化	屋上緑化	固定荷重増加による構造安全性の確認、防水性の確保

## 2) 各分野のこれまでの研究開発

### ①構造分野の取り組み

構造分野での研究開発としては、既存建物の耐震性能を向上させるための耐震診断および耐震改修技術の開発・普及に向けた取り組み（テーマ①）と、構造躯体の部分的な切除や断面縮小とその補強技術によって空間の可変性や間取りの自由度を向上させた空間拡大技術の開発などを行ってきた（テーマ②・③）。

耐震性の向上については、「ソフトランディング型の免震技術」、「外付け鋼材ダンパーによる補強方法・設計および評価方法」などの耐震改修技術の開発、戸建て住宅向けにも「改修構法の選択システム」や「敷地・基礎の耐震診断・改修技術指針案」などをまとめ、耐震性向上技術の普及に努めている。

空間拡大技術としては、「梁せいの低減」による頭上空間の拡大、「スラブや壁に開口を設けた場合の補強方法」による間取りの自由度の確保、「梁のあと抜き貫通孔の補強方法」を用いた設備配管の自由度の確保など、空間の可変性を高めるための要素技術を開発してきた。また、空間拡大技術の実現のためには、あと施工アンカーの適用が必要になる場合が多く、耐震改修だけでなく、長期的な性状についても検討を行った。あと施工アンカーの長期性状については次章で述べたい。

### ②材料・生産分野の取り組み

材料・生産分野では、テーマ②・③などにおいて、主に鉄筋コンクリート造建物を対象にして耐久性向上のための既存建物の評価技術、改修技術等に関する研究を進めてきた。

RC造建物の耐久性の向上のためには、かぶり厚さ（コンクリートの表面から鉄筋までの最短距離）が重要と考え、かぶり厚さを調査するための手順や、かぶり厚さを増厚によって確保す

る工法などの開発を行ってきた。かぶり厚さ確保のための技術については後述する。

木造住宅の耐久性向上のための技術については、平成16～17年度に既往の技術について整理し、改修目的に応じて工法を選択するための技術資料をまとめている。現在は、既存住宅の劣化の程度を定量的に評価するための、調査・診断技術の検討などを行っている。

### ③環境・防火分野の取り組み

環境分野については、従来新築の建物を対象に開発されてきた省エネ・CO<sub>2</sub>抑制技術について、ボリュームゾーンとしての効果の大きい既存住宅に適用させるための研究開発を行ってきた。

テーマ④では、省エネ改修を普及させるための検討として「既存住宅の省エネ改修ガイドライン」をとりまとめ、省エネ改修が必要な部位の判定技術、改修の要素技術や事例等を紹介し、技術の普及に努めた。省エネ改修の推進については、省エネ改修推進事業等の実施による費用面での補助や新たな改修技術の開発等により、かなり普及してきたと言えよう。

また、テーマ②において、供用期間中の設備更新を考慮した設備機器の設置の考え方について、必要なスペースの確保や配管の方法などに関する検討を行った。これらについては住宅品確法の性能表示基準（維持管理容易性）などに活かされている。

防火分野に関わる法令の規定は、既存建物の活用の阻害要因として挙げられる例も多いが、一方で、既存建物といえども火災安全性は当然具備すべき性能である。これを解決するための検討として、テーマ⑤などを実施している。ここでの検討の詳細については、別途講演の中で説明されることとなっている。

	第二期中間計画 (H18～22)	第三期中間計画 (H23～27)
構造分野	①耐震化率向上を目指した普及型耐震改修技術の開発 H18～20	
材料・生産分野	②既存建築ストックの再生・活用手法に関する研究 H18～20	③既存建築ストックの再生・活用を促進するための制度的課題の解明と技術基準に関する研究 H23～25
環境・防火分野	④建築物におけるより実効的な省エネルギー性能向上技術と既存ストックへの適用手法に関する研究 H18～20	⑤緊急性が高い既存不適格建築物の火災安全性向上技術の開発 H23～25
住宅・都市分野	⑥既存住宅流通促進のための手法開発 H20～22	⑦住宅価値の長期的な維持・向上のためのマネジメント技術に関する研究

図2 建築ストックの活用に関連する建築研究所の主な研究テーマ

#### ④住宅・都市分野の取り組み

住宅・都市分野では、ハード技術ではなく、既存住宅の流通促進や住宅価値を維持・向上させるための検討を行っている。

テーマ⑥では、既存住宅流通市場の活性化のための事業手法として、工務店が中心主体となって仲介業者機能を盛り込んだモデル、仲介業者が中心主体となってリフォーム提案を行うモデル、設計事務所が中心主体となって住宅購入とリフォームを一体的に行うモデル、などの流通モデルの提案を行った。

テーマ⑦では、賃貸および区分所有の共同住宅を対象に、住戸や住棟の改修実施におけるオーナー・居住者間、あるいは占有部と共用部が一体となったマネジメント方策などの検討を行っているところである。

建築研究所の研究テーマについては、ここで紹介した以外にも既存建物の評価や改修のための基礎的技術の研究や、技術普及のためのフォローアップなどの課題を進めている。近年、国土交通省の施策としても、建築ストック活用に関連する研究会等の実施、既存住宅の長期優良住宅制度等の検討、省エネやグレードアップ改修のための補助事業等などが急ピッチに進められるようになり、これまでの検討がこのような場面で活用されている。

### IV 建築ストック活用に必要な技術開発・評価

#### 1) あと施工アンカーの長期性状に関する評価

##### ①あと施工アンカーに対する現状と検討の背景

現在検討を進めている技術的検討の一つとして、あと施工アンカーの長期性状に関する評価について紹介したい。

あと施工アンカーとは、既存のコンクリート躯体を穿孔し、接着剤や機械式のアンカー等を介して鉄筋やボルトなどを既存躯体に固定するものである。設備機器や配管等の取り付け、非構造部材の取り付けのほか、耐震改修などでも使われており、建築物への適用は年々増加している。耐震改修以外でも、エレベーター増設や居住空間の可変性をもたせた大規模な改修工事において、既存躯体へのスラブや階段等の取り付け、耐力壁の増厚や基礎梁の増厚など、あと施工アンカーの適用によって可能となることは多い。また、海外では構造躯体への積極的な適用も進められている。

ストック活用のための躯体改造（躯体部分の切除や補強）を行うためには、あと施工アンカーの長期荷重に対する許容応力度およびそれを用いた設計法が必要になる。しかしながら、現

時点では国土交通大臣による長期許容応力度の指定はなされていないため、建築基準法に適合した構造方法として一般的に用いることはできない。これらの技術的な基準については、長年にわたる変形状（クリープ特性）や耐久性に関する知見が十分でないため、技術的知見を蓄積した上で許容応力度、設計法および品質確保の方法等が示されることになる。

耐震改修で用いられるあと施工アンカーについては、平成18年の国土交通省告示第1024号の改正により、短期荷重に対する材料強度および許容応力度が定められ、あわせて「あと施工アンカー・連続繊維補強設計・施工指針」<sup>2)</sup>（以下、補強指針）が示されている。なお、補強指針での強度式等はRC造の耐震改修指針<sup>3)</sup>が参考にされている。また、日本建築学会においては、各種合成構造設計指針同解説<sup>4)</sup>（以下、合成構造指針）において、許容応力度、設計方法等が示されており、技術的にはこれらを参考にすることが可能である。ここで、問題となるのが、クリープ変形による長期の変形の問題、アンカーの材料的な劣化や施工の品質等に起因する、長期的な荷重に対する材料の品質の信頼性などの点である。建築研究所では、これらの長期的な作用に対する問題に対して、クリープ試験方法の検討やその評価方法について検討を行ってきた。

#### ②クリープ変形に関する評価

あと施工アンカーの接着剤には有機系の材料が用いられることが多いことや、一般的なRC構造の定着長に比べてアンカー筋の埋め込み長さが短く用いられる（通常、鉄筋径の7～12倍程度）ことなどから、長期荷重による鉄筋の変位（クリープ変形）に対する安全性の確認が必要である。クリープ変形に対する試験方法は、平成20～22年度の建築基準整備促進事業（以下、基整備）における検討を踏まえ、建築研究所で継続的に検討を行ったものである。

クリープ試験の試験方法およびその結果の評価方法については、国内では松崎らの研究<sup>5)</sup>がある程度であるが、EOTA（欧州技術認証機構）の認証基準（ETAG 001 GUIDELINE FOR EUROPEAN TECHNICAL APPROVAL OF METAL ANCHORS FOR USE IN CONCRETE Part5 BONDED ANCHORS）やACI（アメリカコンクリート工学会）基準（ACI 308.4R-11 Qualification of Post-Installed Adhesive Anchors in Concrete and Commentary）において提案され、これらに基づいた評価が行われている。欧米では、長期荷重に対してあと施工アンカーを適用している実績も多く、評価方法についても参考にできる部分は多い。

試験方法は、基盤促での検討において、引張荷重に対して図3に示すようなバネ式の加力装置が検討された<sup>6)</sup>。また、せん断力に対する変形も評価するため、図4のようなせん断用の加力装置を用いて評価を行った。また、クリープ性状は、温湿度の影響を大きく受けるため恒温恒湿環境下(20±2℃、65±5%RH)で実施した。試験状況を写真1および写真2に示す。

クリープ変形の評価の考え方を下記枠内に示す。評価は、ACI基準、ETAGなどで採用されている考え方(Findley approach)を参考にしている。

- ① 一定のクリープ荷重を90日間以上継続荷重し、鉄筋の抜け出し量(自由端変位量、以下“変位量”)を測定する。
- ② 時間と変位量の関係から、長期のクリープひずみ式((1)式)の係数を求める。  

$$s(t) = s_0 + a \cdot t^b$$
 ここで、  
 $s(t)$  : t 時間後の変位量の予測値  
 $t$  : 時間 (日)  
 $s_0$  : 初期変位 (弾性変形量)  
 $a, b$  : 実験で決定される係数 (少なくとも90日間以上実施した試験の最終20日間以上のデータ)
- ③ (1)式により、評価対象の期間におけるクリープ変形量を求め、短期付着試験における付着破壊時の変形量以内であることを確認する。

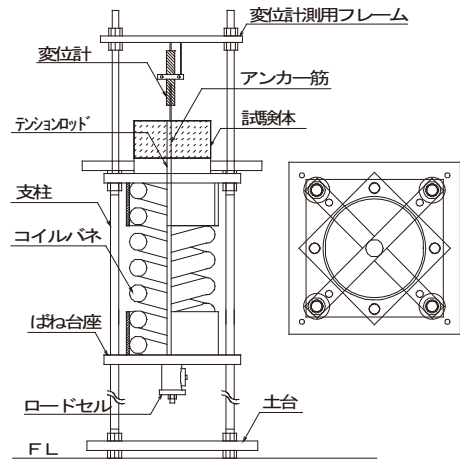


図3 引張クリープ試験用加力装置

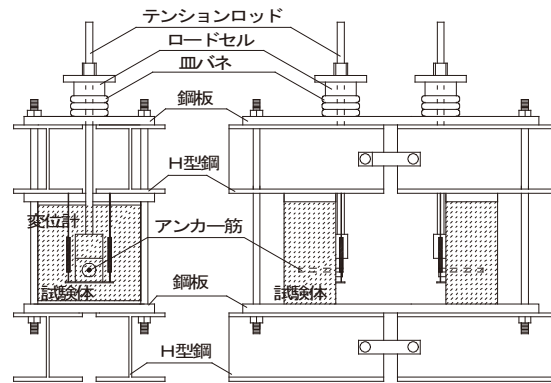


図4 せん断クリープ試験用加力装置



写真1 引張クリープ試験の状況

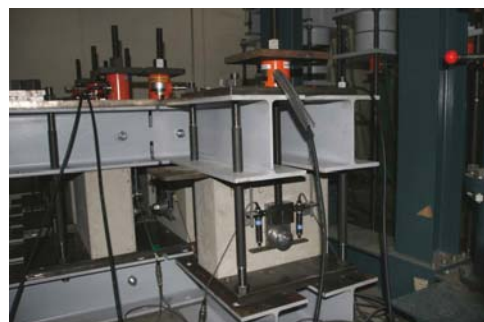


写真2 せん断クリープ試験の状況

クリープ荷重は、今回の評価では、引張付着試験における最大耐力の平均値の1/3に相当する荷重とした。その理由としては、材料の基準強度は、最大耐力の平均値から材料や施工のばらつき等を考慮して十分に低い値がとられることになり、長期許容応力度は、一般に3倍を安全率として見込むこととなるため、最大耐力の1/3の荷重により安全側の評価になるとの判断である。欧米の基準類では、材料の認証の範囲や適用条件に応じて材料の基準となる強度やクリープ荷重が異なり、実質的には、最大耐力の30~50%程度で評価されることになる。日本においても、あと施工アンカーに対する第三者認証の制度・体系が確立した場合には、試験によって異なる材料強度を与える方法を取り入れることも可能になると考えられるが、現在の制度・体系では一定の許容耐力を満足するか否かの判断と、それに基づく許容応力度を設定する考え方が安全性確保の観点から現実的、合理的であると言えよう。

また、評価対象の期間はETAGやACI基準では50年後のクリ

ープ変形量を評価することとなっている。評価期間については議論が必要な点であるが、実際のクリープ変形は長期的にはサチュレートし、(1)式は長期的には安全側の評価を与えるという試験結果<sup>7)</sup>なども報告されていることから、50年ないしは100年程度の評価期間でも問題ないと思われる。

以降に、クリープ変形の評価例として、カプセル方式の有機系接着アンカーの引張およびせん断クリープの試験結果を示す。

鉄筋（アンカー筋）は、引張クリープについてはD13の異形鉄筋を7da（91mm）の埋め込み深さとした場合、せん断クリープは、D19の異形鉄筋を5da（95mm）の深さとした場合についての結果である。

図5に引張およびせん断のクリープ試験結果を示す。図の縦軸は左が引張りクリープにおける自由端変位（加力と反対側の鉄筋のずれ）、右がせん断変位（アンカー筋位置の水平方向の変位）を表している。

引張クリープは、弾性変形による瞬間的な変形を生じた後、緩やかに変位が大きくなり、120日間程度のこの試験の範囲では継続的に変形が進展するように見受けられる。せん断クリープについては、コンクリートおよび加力治具のゆるみによる変形も含むため、初期の弾性変形量は大きいもののクリープ変形による伸びは一定の値に収束するように見受けられる。

図6は引張クリープの予測値と最大荷重時の変位の比較、図7はせん断クリープの予測値と最大荷重時の変位の比較である。各図中の直線は、引張りおよびせん断破壊時の変位を表している。引張クリープによる変位は時間の経過と共に大きくなるものの、100年程度の荷重期間では今回の実験における最大荷重時の変位（2.39mm）を超えることはないと思われる。また、せん断クリープについては、コンクリートの変形による初期変形は大きいものの時間の経過による変形は小さく、またアンカー筋とコンクリート間の接着層の厚さは実際には1~2mm程度であることから、クリープ変形によって問題を生じる可能性は小さいと考えられる。

現在、代表的な種類の接着系アンカーについて試験を行い、100年程度の評価期間であればクリープ変形量は最大荷重時の変形量を超えないことを確認しているが、アンカーの樹脂の種類・材質や施工条件等によっては異なる結果となることも考えられるため、特に引張クリープについては、原則として各材料や施工方法ごとに試験による評価が必要であると考えられる。また、今回の実験ではクリープ荷重のレベルは最大耐力の平均値の1/3を目安として荷重しているが、クリープ特性は荷重レ

ベルによって異なる特徴を示し、一定期間の間にクリープ破壊に至る荷重レベルやクリープ変形を考慮する必要のない荷重レベルも存在する。また、温度によるクリープ特性の違いなどもあるため、これらの評価が今後の課題として挙げられる。

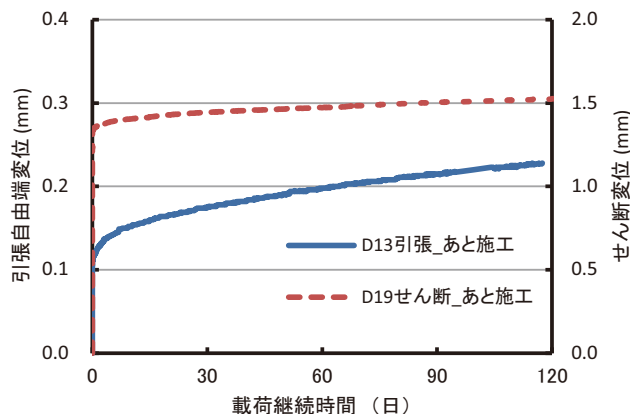


図5 クリープ試験の結果例

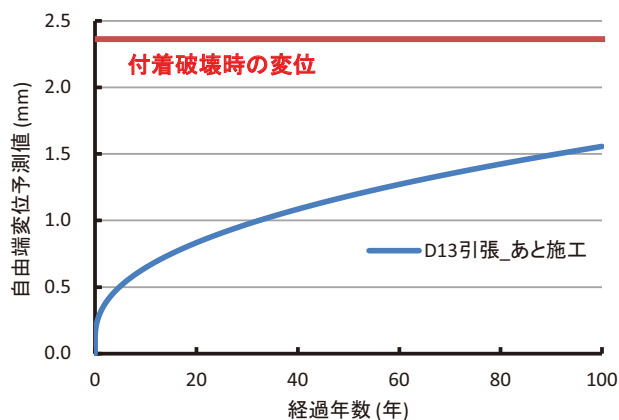


図6 引張クリープの推定結果

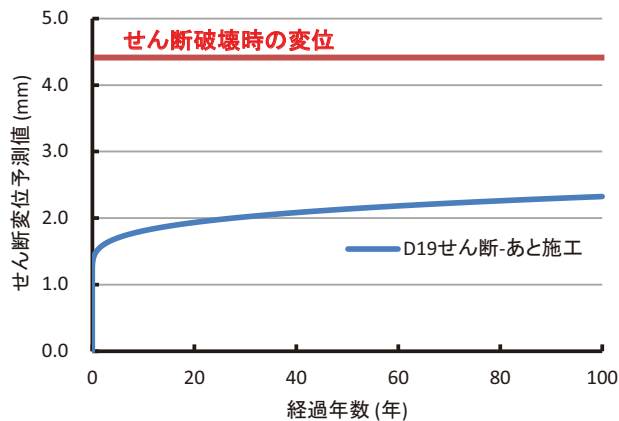


図7 せん断クリープの推定結果



### ③耐久性に関する評価

笹子トンネルの事故調査報告<sup>8)</sup>では、事故の原因の一つとして接着剤に使用された樹脂がアルカリによって加水分解を生じ、接着力を低下させた可能性があることが指摘された。ETAG および ACI 基準においても、樹脂の耐アルカリ性は評価項目の一つとなっており、長期間コンクリート中に埋設されるアンカーとしては、耐アルカリ性の評価が必要になるとと思われる。JCAA（日本あと施工アンカー協会）の製品認証基準では、耐アルカリ性の評価として、煮沸したアルカリ溶液中での樹脂単体の質量減少率によって評価が行われているが、付着力に対する直接的な評価がなされていない状況であったため、ETAG 等で実施されている押し抜き試験（スライステスト）について導入を試み、その具体的手順等について確認した。

押し抜き試験の手順および評価方法は下枠の通りである。

- ① φ150mm のコンクリート円柱供試体の中央にアンカーを施工し、30±3mm 厚の円盤状になるように切り出す。
- ② 切り出した円盤状の試験体を、pH13.2±0.2 になるように調製したアルカリ水溶液中に浸せきする。
- ③ アルカリ溶液中に 2000 時間の浸せきした試験体と同じ期間気中に置いた試験体各 10 体について、押し抜き試験を行い、最大押し抜き荷重と試験体厚さから、最大付着応力度を算定する。
- ④ 気中乾燥の試験体とアルカリ浸せき後の試験体の最大付着応力度の比を求め、その比により必要に応じて基準強度の低減などを行う。

試験体に用いるアンカー筋は、相対評価を行うことや形状の大きさ等を考慮し M12 の全ねじボルトを用いている。アルカリ溶液の調製は KOH（水酸化カリウム）により行い、随時 pH を確認して規定の範囲になるよう調製する。

押し抜き試験は、図8に示すように治具を配置して実施する。写真3に試験状況を示す。治具はφ25mmに開孔したプレートと押し抜きを行うための棒（安定した加力のためT型の断面）、

試験体の変形を拘束する円筒形の治具から構成される。評価は最大付着応力によって行うが、試験中の加力や変形の適切さの確認のため、押し抜き時の変位も測定している。

表3に耐アルカリ性について評価した結果の例を示す。実験に用いた樹脂の種類は、ラジカル系、エポキシ系、無機系（セメント系）の3種類の接着剤を注入方式で施工した、あと施工

アンカーとした。また、比較として、アルカリ溶液への浸せき時間は1000時間、2000時間、4000時間（試験継続中）とした。

結果的に、いずれの接着剤も付着力の大きな低下は確認されていない。無機系については、材料的な性質からアルカリ環境下で強度が上昇するという傾向も見られている。アルカリ溶液

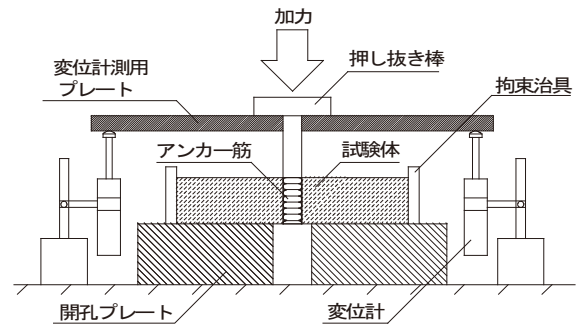


図8 押し抜き試験用治具



写真3 押し抜き試験の実施状況

表3 耐アルカリ試験（押し抜き試験）の結果例

接着剤種類	試験条件	付着応力度平均 (N/mm <sup>2</sup> )	付着応力度 標準偏差 (N/mm <sup>2</sup> )	残存 強度比	変動 係数
有機系注入 (ラジカル硬化型樹脂)	浸せき1000h	13.8	2.0	0.97	0.14
	浸せき2000h	15.5	3.3	1.09	0.21
	気中2000h	14.3	3.8	—	0.27
有機系注入 (エポキシ樹脂)	浸せき1000h	19.1	3.7	1.01	0.20
	浸せき2000h	19.2	3.0	1.01	0.15
	気中2000h	19.0	2.9	—	0.15
無機系注入 (セメント系)	浸せき1000h	19.0	7.3	1.32	0.38
	浸せき2000h	18.4	4.8	1.28	0.26
	気中2000h	14.4	3.8	—	0.26

への浸せき時間と実環境下における作用時間の関係は明らかではないが、コンクリート中で長期にわたって使用することを考えると、直接的に強度低下を確認する方法は適当であると言える。また、欧米の基準において、長期荷重が作用する部材へ適用する材料に対する評価基準としての実績も参考にできよう。

押し抜き試験の問題点、課題としては、標準偏差が比較的大きく、個々の試験値のばらつきが大きいことがある。これは、試験体を切り出す際の平行度や平滑度の精度確保が難しいこと、アンカー埋め込み長さが長い場合に均質な施工が難しくなること、試験体の乾燥状態にばらつきが生じることなど、試験体の製作時や試験実施時の手順に課題がある。これらの試験実施のノウハウについても蓄積し、安定した評価を行うための試験方法を提案する予定である。

#### ④許容応力度設定の考え方の例

あと施工アンカーを適用した部材の設計を行うためには、材料の基準強度や長期許容応力度が必要となる。補強指針<sup>2)</sup>では、接着系アンカーの引張りおよびせん断の短期許容応力度の設定として次のような式を与えている。

##### (a) 引張耐力

$$Ta = \min[Ta_1, Ta_2, Ta_3]$$

$$Ta_1 = \sigma_y \cdot a_0 \quad (\text{アンカー筋の降伏})$$

$$Ta_2 = 0.23\sqrt{\sigma_B} \cdot Ac \quad (\text{コンクリートのコーン状破壊})$$

$$Ta_3 = 10\sqrt{\sigma_B / 21} \cdot \pi \cdot d_a \cdot l_e \quad (\text{アンカーの付着破壊})$$

ここで、

- ${}_m\sigma_y$  : 金属系アンカー本体の降伏点強度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $a_0$  : 金属系アンカー本体各部の最小断面積 (mm<sup>2</sup>)
- $\sigma_y$  : 鉄筋の規格降伏点強度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $a_0$  : 接合部の有効断面積又は公称断面積 (mm<sup>2</sup>)
- $\sigma_B$  : 既存コンクリートの圧縮強度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $Ac$  : コーン状破壊面の有効水平投影面積 (mm<sup>2</sup>)
- $d_a$  : アンカー軸部の直径 (mm)

##### (b) せん断耐力

$$Qa = \min[Qa_1, Qa_2, 294_s a_e]$$

$$Qa_1 = 0.7_m \sigma_y \cdot a_e \quad (\text{アンカー筋のせん断降伏})$$

$$Qa_2 = 0.4\sqrt{E_c \cdot \sigma_B} \cdot a_e \quad (\text{コンクリートの支圧破壊})$$

ここで、

- ${}_s a_e$  : アンカー本体又はアンカー筋の断面積 (mm<sup>2</sup>)
- $E_c$  : 既存部のコンクリートのヤング係数 (N/mm<sup>2</sup>)

長期許容応力度の場合には、これらの式に加えて、前述のクリープ変形の確認、耐アルカリ性の確認と必要に応じた許容耐力の低減などが必要になるであろう。長期許容応力度の設定の考え方の例を図9示す。

破壊モードごとの許容耐力の算定は、基本的には前述の補強指針の算定式の考え方によることができる。なお、補強指針では、接着系アンカーの種類は、有機系のカプセル方式のみが想定されているが、ここでは、接着剤の種類や工法によって許容付着応力度を区別せず、無機系あるいは注入方式による場合でも、付着強度試験を実施し、ばらつきを考慮して低減した引張耐力が補強指針に示される許容耐力と同等以上であることを確認した上で用いることとしている。

また、クリープ試験、耐アルカリ試験についても前述のような考え方で実施し、適否の評価や許容耐力の低減を行うことで、長期性状を考慮した許容耐力の設定が可能であろう。

許容応力度の設定は、破壊モードに応じた安全率を保有するように設定する。

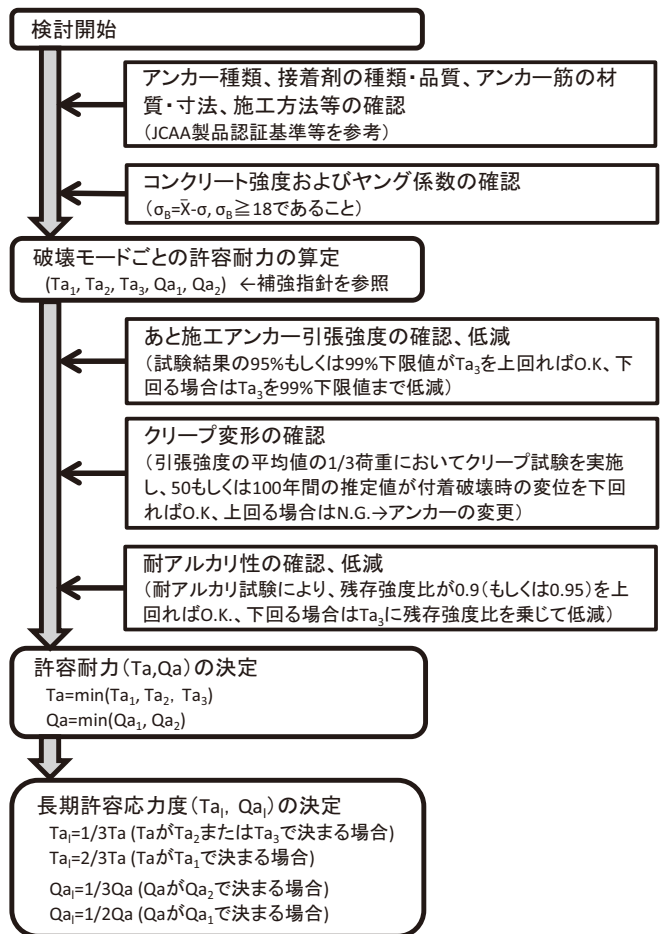


図9 あと施工アンカーの長期許容応力度設定の考え方の例

## ⑤あと施工アンカーを用いた設計法

許容応力度等が設定された場合、それらを適用した設計が可能になるが、その設計の考え方については、安全性を十分に考慮する必要がある。応力の作用機構としては、あと施工アンカーの引張力のみで応力を伝達する設計（吊り下げ構造となるような場合）は、安全性の観点から避けるべきである。また、せん断力と引張力が同時に作用するような場合（横向きに部材を固定し自重を支えるような場合）でも、火災時や大変形等による落下防止のために固定部材を下から受け、クリープ等の変形が応力伝達に影響を及ぼさないように、大きな変形・移動等が生じないような機構が求められる。なお、最近では、鋼管コッターとあと施工アンカーを併用したスラブの固定方法なども検討され、実証実験等が行われている<sup>9)</sup>。

このほか、施工箇所の要因として、はしあき、へりあきの考慮やひび割れ等のコンクリートの損傷がある場合は適用しない、あるいは適切な補修を実施した上で適用するなどの考慮が必要であり、これらについては、合成構造指針<sup>4)</sup>などが参考にできる。

## ⑥材料および施工の品質の確保

あと施工アンカーは、JIS等の製品規格は存在せず、現状では、前述のJCAAの製品認証制度によって品質の確認が行われている。補強指針においては、許容応力度及び材料強度はそれぞれ国土交通大臣の指定する数値とするとされており、その指定書には、この製品認証による製品が実績として適用されている。

長期許容応力度については、さらに長期性状に関する確認が必要になるため、前述のような性能評価のための試験が必要になる。また、これらの試験の実施は第三者機関で実施されることが望ましく、試験方法の標準化のための検討もあわせて必要である。

また、あと施工アンカーの品質は、施工時の品質および施工する対象のコンクリート部材の状況の影響を受けることも分かっている。施工の品質については、JCAAにおいて、施工や設計に関する資格制度（第一種・第二種施工士、技術管理士、主任技士）が運用されており、これらの資格あるいは同等の施工品質の確保が期待できるような有資格者による施工が実施される体制が望まれる。

## 2) 耐久性を確保するためのかぶり厚さ確保

### ①かぶり厚さ確保技術に関する検討の背景

ストック活用のためには、建物の耐久性が確保されていることが前提となる。鉄筋コンクリート建築物に関しても、既存のストックの中には、長期の使用に対して十分な耐久性を有していない場合や、すでに劣化が進行している建物も少なくない。既存の鉄筋コンクリート造建物の補修や耐久性向上するための技術として、ポリマーセメントモルタルを用いて躯体の表面を被覆したり、劣化した部分に対して断面修復する工法がある。この場合、補修部分を躯体の一部（かぶり厚さ）として構成することによって、耐久性や耐火性に関する法律上の規定も満足することが出来る。

かぶり厚さをコンクリート以外の材料で構成する場合の建築基準法上の根拠は、施行令第79条第2項で、国土交通大臣が定めた構造方法を用いる部材とされている。ここで、国土交通大臣が定めた構造方法は、平成17年に改正された平成13年国土交通省告示第1372号（以下、国交告1372号と記す）に規定されている。国交告1372号では、第2項にコンクリート以外の材料を用いる部材の場合が規定されており、第一号にポリマーの樹脂に関すること、材料の曲げ強さ、圧縮強さ、接着強さ、接着耐久性などが規定されている。また、第二号から第四号が部材に関する規定、第五号は構造安全性に関する規定となっており、かぶり厚さ部分をポリマーセメントモルタルで構成する場合にはこれらが要件となる。

さらに、補修対象となる部材が耐火構造であることが求められる部材の場合については、耐火構造に関する規定を満足する必要がある、その具体的な内容については、平成12年建設省告示第1399号（以下、建告1399号と記す）に耐火構造とするための部位ごとの仕様（例示仕様）が示されている。ここでは、国交告1372号第2項による材料、すなわちポリマーセメントモルタルを用いた場合には、「防火上支障のないものに限る」ことが規定されている。また、内装制限がかかる部位に用いる場合には、使用箇所やその量に応じて材料の不燃性が求められることになる。

ここで具体的な技術基準として、二つの告示が規定されているが、ストック活用を考えた場合には、さらに耐久性に関する検討が必要ではないかという点、防火上支障のないものの具体的な評価方法やその例示がないため具体的な材料や工法を評価できないという点が問題となった。そこで、建築研究所では、ポリマーセメントモルタルを用いた補修方法における、材料や工

法に関する評価方法および所要の性能を満足する仕様の例示を目的とした検討を行った。なお、この検討の一部は、(一社)日本建設業連合会との共同研究および建築基準整備促進事業「防火・避難対策等に関する実験的検討」において実施された。

## ②補修材料に関する評価

ポリマーセメントモルタルとは、一般的なセメントモルタルにセメント質量比 (P/C) で2~15%程度のポリマー (有機系高分子樹脂) が混入された材料である。また、施工時のダレやひび割れ防止のために、ナイロン、ビニロン等の繊維が加えられる場合もある。使用されるポリマーにはEVA (エチレン酢酸ビニル)、PAE (アクリル共重合樹脂)、SBR (スチレンブタジエンゴム) などが用いられるが、一般的には、ポリマー量が多いほど、接着性や物質透過抵抗性、流動性等が高くなるが、高温時の特性として、発熱量が多くなったり爆裂が生じやすくなるなどのデメリットが生じる。このような材料について、強度と接着性については前述の国交告 1372 号に試験方法と基準値がある。そこで、強度に加えて耐久性に関わる事項と不燃性に関する評価方法および評価基準の検討を行った。

耐久性については、中性化抵抗性、塩化物イオン浸透抵抗性、乾燥収縮、凍結融解抵抗性等を確認した。実験結果の詳細については文献<sup>10)</sup>を参照されたい。

また、材料の不燃性については、接着性向上のためにポリマーの混入量を増やすと、発熱量が大きくなりさらに爆裂しやすくなるという傾向があり、従来、両者の両立は難しいと言われていた。今回の検討では、試験方法の標準化を行い、ポリマーの種類と量の発熱性の関係などを明らかにした。その上で、市販の多くの材料を評価し、接着性と不燃性を両立できる材料があることを確認した (図 10 ハッチ部分)。ただし、耐爆裂性に

ついては、材料レベルの評価ではなく一定の面積の部材による評価が必要であることが分かった。これらの実験結果の詳細については、建築研究報告<sup>11)</sup>に詳述している。

## ③補修工法の開発と耐火性の評価

耐火構造である部材として、防火上支障のないことを確認するためには、補修に用いる材料だけでなく、工法も含めた評価が必要である。検討では、所要の品質を満足する材料を用いて、火災時にも剥落を生じないような落下防止措置等の工法を開発し施工要領書案を提案した。図 11 に今回開発した落下防止工法とその施工手順を示す。この工法は、補修するモルタル層の中にステンレス製の金網を固定し、長期的な作用や火災時の一体性を確保する工法である。

また、この工法によって補修した壁部材 (実大規模 4m 角の大型壁および 1.1m 角の小型壁) の耐火試験を行い、所要の耐火性能を有することを確認した。また、材料レベルでは爆裂に対す

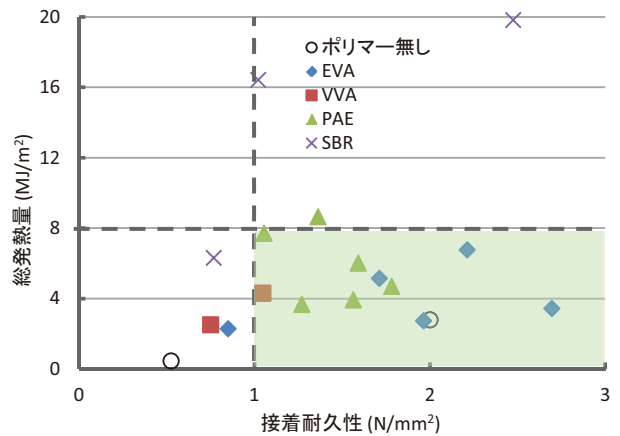


図 10 接着耐久性と総発熱量の関係

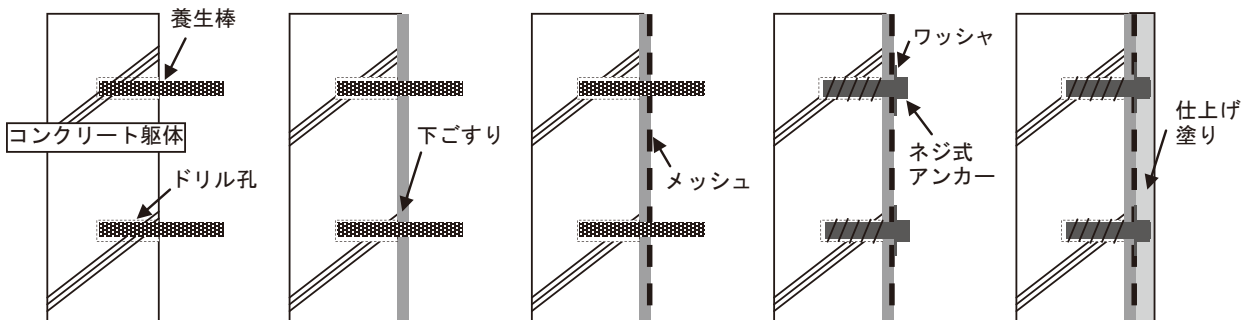


図 11 長期的作用および火災時に有効な落下防止工法の概要・施工手順

表4 耐爆裂性の評価の考え方






区分	I	II	III	IV	V
状態					
	ひび割れは発生するが剥落・爆裂がない状態	爆裂がなく脱落防止用メッシュより表層のみに部分的な剥落が発生した状態	表層のみに部分的な剥落・爆裂が発生した状態	部分的に脱落防止用メッシュより内部が爆裂した状態	ほぼ全面的に脱落防止用メッシュより内部が爆裂した状態
評価の考え方	耐火性に問題なし	かぶり位置の温度測定により、所定の温度以下であること		耐火性に問題有り	

表5 ポリマーセメントモルタルを用いたかぶり厚さ確保補修における材料および工法の評価基準

対象	性能	試験項目	試験方法	基準値
材料	力学性能	圧縮強さ	JIS A 1171	20N/mm <sup>2</sup> 以上
		曲げ強さ	JIS A 1171	6N/mm <sup>2</sup> 以上
		接着強さ	JIS A 1171	1N/mm <sup>2</sup> 以上
		接着耐久性	JIS A 1171	1N/mm <sup>2</sup> 以上
	不燃性	発熱性	ISO 5660-1	不燃材料の要件を満たすこと
耐久性	促進中性化	JIS A 1153	中性化速度係数が計画供用期間の級に応じた値以下	
部材	施工性	—	—	施工性が良いこと、平坦に仕上がる
	仕上がり性	外観	目視	亀甲ひび割れなど全面に微細なひび割れがないこと
		浮き	打音	部材の内部に浮きがなく、外周部の浮きが生じた場合は10%以下であること
		ひび割れ	目視	幅0.2mmを超えるひび割れがないこと、かつ幅0.1mm~0.2mmのひび割れ長さが0.2m/m <sup>2</sup> 以下であること
	耐火性	耐爆裂性	加熱試験	表4の区分の状態I、もしくは状態IIまたはIIIでかつ遮熱性があること、脱落防止効果があること
荷重支持性能		荷重加熱試験	部材として必要な耐火時間を有すること	

る評価が困難であり、小型の壁部材を用いた評価が有効であることを確認した。表4に壁部材による耐爆裂性の評価の考え方を示す。

さらに、耐火構造の部材としての性能を確認するため、柱部材および床部材について、今回検討した材料および工法による補修を行った柱および床部材で荷重加熱試験を行い、所要の耐火性を有していることを確認した。実験結果の詳細については、文献<sup>12,13</sup>を参照されたい。

#### ④材料および工法の評価基準

今回検討した補修材料および補修工法について、適切な材料を選択し、耐久性および耐火性を確保した補修を行うための、材料および工法に関する評価基準を検討した。表5に評価基準を示す。これらの基準は、前述の告示に示された規定を補足し、具体化したものとして、施工者と施工主（監理者）、設計者と建築主事など、具体的な補修仕様の検討、調整において運用されることを想定している。

### 3) 建築ストック活用の手続きのための建物調査・確認

#### ①検討の背景

ストック活用のために改修工事や増築工事などを行う場合には、設計や工事を行う前に、その建物について様々な情報を収集し、必要な手続きを進めなければならない。補修や補強の設計を行うための調査・診断技術については、参考になる技術的な資料（例えば文献<sup>3,14)</sup>）もあり、それらが活用されている。しかしながら、ストック活用の手続きを進めるために必要な調査や建物の確認項目については、技術的な資料として整理されている例は少ない。そこで、建築研究所では、ストック活用を行う場合の手続きに必要な、建物の調査や確認項目、手続き上の判断に関する参考資料などをまとめた調査マニュアル（案）（以下、マニュアル案）を検討している。マニュアル案は、現在その内容を精査している段階であるため、ここでは、その概要について紹介したい。

#### ②建築ストック活用の手続きにおいて必要となる調査・確認項目

図12にストック活用における建築確認申請に関わる手続きのフローとチェックポイントを示す。

増築や改修工事等の発意があり、ストック活用のプロジェクトを検討する時の建築基準法上の手続きに関しては、まず建築確認申請の要否が問題となる。一般的には、建築主事等と事前協議を行い、要否の判断を行う。この要否は大きなポイントになり、既存の建物の状況によっては、建築確認申請が不要な範囲の改修工事に設計変更が行われる場合もある。また、ここでの要否の判断のポイントになる点としては、以下のような点がある。

- ・ 主要構造部および構造耐力上主要な部分に該当する部材かどうかの判断
- ・ 工事の範囲の「過半」の判断
- ・ 用途区分の判断

これらの判断は、建築主事等が行うことになるが、当該建物や地域の実状、過去の経緯等によって異なる判断がなされる場合や判断に時間を要する場合もあり、この不確実性がストック活用における申請者のリスクの一つとなっている。マニュアル案では、文献調査や建築主事等へのアンケート調査の結果などから、これらの判断において参考となる情報をまとめている。

建築確認申請が必要となった場合、次のステップとして、既

存の建物の法適合性の確認および既存不適格事項の有無が確認されることになる。既存の建物について建築確認申請が出された時点の適法性が証明されなければ、その建物について改修等を行った場合の法適合性が担保されなくなるためである。

法適合性の確認は、検査済証によって行われるが、既存の建物には検査済証の交付を受けていない建物が存在し、そのような建物では、当該建物の法適合性が確認できないことになる。また、将来にわたって建築確認申請を要するような改修ができなくなってしまうリスクもあり、ストック活用に当たっての問題の一つとなっている。特定行政庁でも、法適合性を確認するための手続きを個別に定めているが、建物の状況によっては、実際の手続きに、かなりの費用や時間を要する場合もある。

検査済証がない場合の法適合性の確認では、検査済証を補完する資料によって、図面情報や施工監理上で確認できる点について法適合性があることを確認する。さらに、建物が適切に施工されたかどうかを現況調査によって確認する。現況調査は、コンクリートの強度や配筋状態の確認など、サンプル調査によらなければならない。マニュアル案では、特定行政庁等の取り扱いの実態を調査し、検査済証を補完する資料の例示、現況調査を行う場合の調査の考え方、調査箇所、調査数量、調査方法などを例示することによって、法適合性の確認を円滑に進めるための参考情報としてとりまとめている。

マニュアル案については、現在とりまとめを行っており、内容を精査した上で公表したいと考えている。

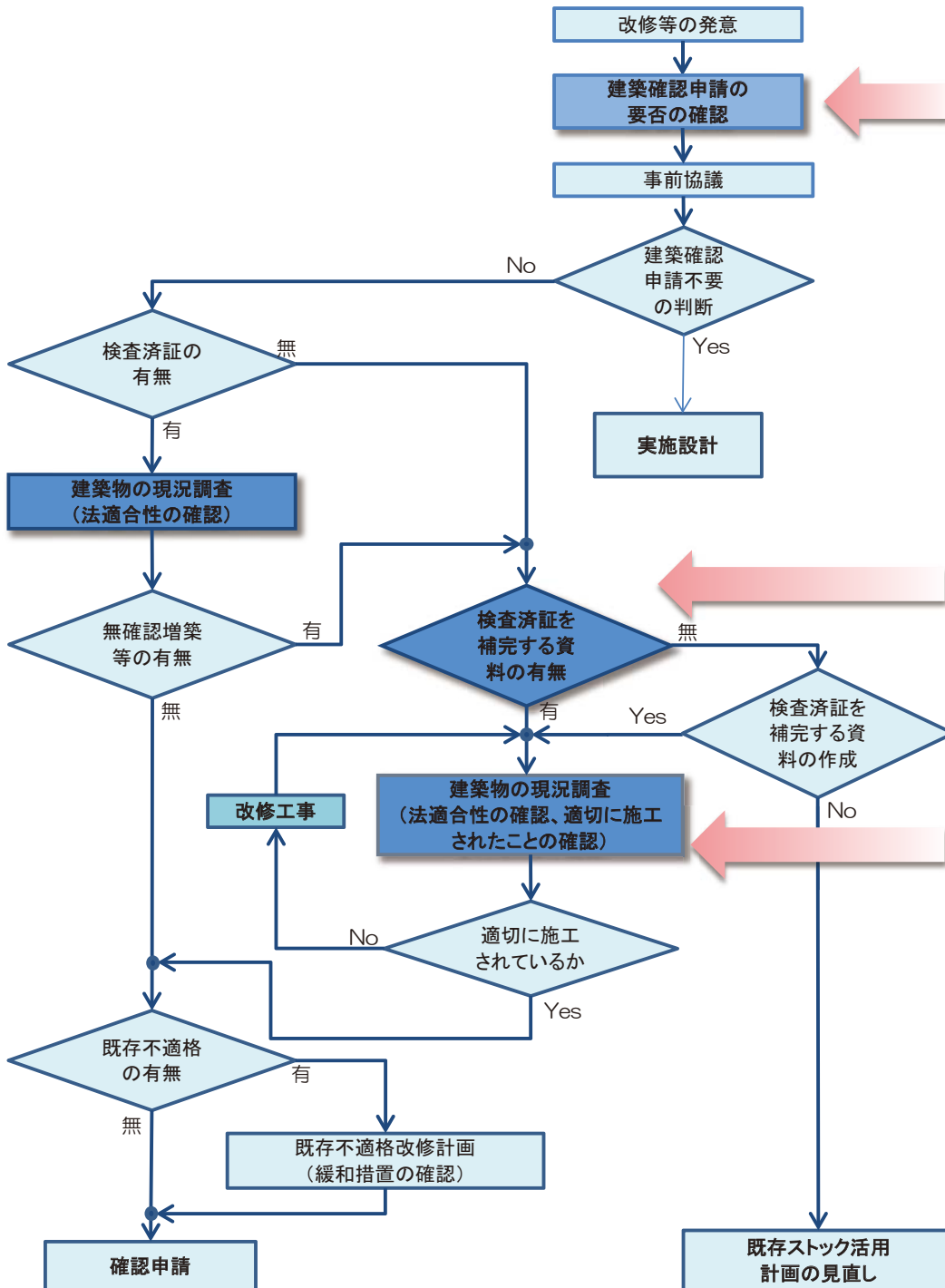
## V おわりに

建築ストックの活用を促進するための建築研究所のこれまでの研究活動、および現在進めている調査研究について紹介してきた。ストック活用のためには、ハード的な技術開発とそれを活用するための諸制度や技術基準が両輪となって整備される必要があることは、これまでの研究で強く感じたところである。また、社会制度がストック活用を阻害することのないような働きかけをしていくことも重要である。

ストック促進のための研究開発はかなり進んできたと言えるが、今後も技術と制度の両輪が円滑に回るよう努めていく所存である。

チェックのポイント

- 増築、改築、大規模改修・模様替に該当するかの判断
- 特殊建築物の用途変更に該当するかの判断



- 検査済証を補完する資料の例示

- 具体的な現況調査の方法の例示

図12 ストック活用に必要となる建築確認申請に関わる手続きと建物の調査・確認のフロー

## 参考文献

- 1) 濱崎仁：既存建築物の再生・活用（その1）～設計者・ユーザーのニーズと建物を長く使うための技術開発～、平成22年度建築研究所講演会テキスト、2011.3  
(<http://www.kenken.go.jp/japanese/research/lecture/h22/index.html> より入手可能)
- 2) 国土交通省：あと施工アンカー・連続繊維補強設計・施工指針、2008
- 3) 建築防災協会：2001年改訂版 既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準・改修設計指針・同解説、2001
- 4) 日本建築学会：各種合成構造設計指針・同解説、2010
- 5) 松崎育弘ほか：ポリエステル系樹脂アンカーの長期持続引張荷重による限界耐力（常温及び65℃の場合）、日本建築学会関東支部研究報告集 構造系、No.52、pp.249-252、1981.7
- 6) 中野克彦ほか：あと施工アンカーの長期許容応力度に関する研究 その3 引張クリープ試験、日本建築学会大会学術講演梗概集 C-2、pp.639-640、2011.8
- 7) Eligehausen R., and J. Silva：The Assessment and Design of Adhesive Anchors in Concrete for Sustained Loading. Hilti Corporation, Schaan, Principality of Liechtenstein, 2008.
- 8) 国土交通省：トンネル天井板の落下事故に関する調査・検討委員会報告書、2013.6
- 9) 田沼毅彦ほか：鋼管コッターおよびあと施工アンカーを併用した増設スラブ接合方法の研究 その1 鋼管コッター実験 その2 スラブ実験、日本建築学会大会学術講演梗概集 C-2、pp.241-244、2013.9
- 10) 高橋祐一ほか：補修用ポリマーセメントモルタルの耐久性に関する検討およびその評価、日本建築学会技術報告集、No.43、pp.813-818、2013.10
- 11) 濱崎仁ほか：鉄筋コンクリート造建築物のかぶり厚さ確保に関する研究、建築研究報告、No.147、2013.3  
(<http://www.kenken.go.jp/japanese/contents/publications/report/147/index.html> より入手可能)
- 12) 道越真太郎ほか：ポリマーセメントモルタルを用いて補修施工した鉄筋コンクリート造床試験体の耐火試験 その1～その2、日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1、pp.1115-1118、2012.9
- 13) 森田武ほか：ポリマーセメントモルタルを用いて補修施工した鉄筋コンクリート造柱の耐火実験 その1～その2、日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1、pp.1119-1122、2012.9
- 14) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建築物の耐久性調査・診断および補修指針（案）・同解説、1997



# 建築物の確認審査における電子申請対応と BIM 応用の可能性

建築生産研究グループ 主任研究員  
武藤 正樹



# 建築物の確認審査における電子申請対応と BIM 応用の可能性

建築生産研究グループ 主任研究員 武藤 正樹

## 目 次

- I はじめに
- II BIM (Building Information Modeling)とその近況について
  - 1) BIM のあらまし
  - 2) CIB1Day セミナーや事例調査に見る、海外 BIM 利用の近況
    - ①フィンランド
    - ②米国
    - ③アラブ首長国連邦
    - ④シンガポール
    - ⑤韓国
- III 建築物の技術基準への適合確認における隘路と隘路解消のための技術開発の方向性
  - 1) 建築確認審査業務における隘路
  - 2) 隘路解消のための開発ステップ
- IV 確認審査における BIM 応用の検討について
  - 1) 開発対象の選定
  - 2) プロダクトモデルの検討
  - 3) プロセスモデルの検討
- V おわりに
- 参考文献

## I はじめに

建築生産の分野では、「ビルディング インフォメーション モデリング (BIM)」が大きく期待されており、BIM の活用事例も増え、今後一層普及する状況にある。

BIM を用いた設計に関しては、取り扱う、部位、部品等の各要素の情報 (BIM モデルデータ) が、各要素の 3 次元的な形状のみならず、各要素間の関連性や属性に関する情報を持ち、建築設計上の情報が整合していることが見込まれる。このことから、建築物の確認審査において、申請者が、設計情報が一元化

された BIM 建築モデルのデータから、各種技術基準の適合確認のために生成された整合性の高い申請図書を必要に応じて電子ファイルとして提出、申請をすることにより、審査者側の申請図書の記載内容の整合性確認に係る労力の削減と、情報化に伴う図書保存の合理化への期待が持て、申請者側にとっても審査期間短縮といったメリットにつながるといった効果が出現する事が想定される。

本研究は、建築物の技術基準への適合確認の合理化を目的として、建築設計上の情報を統合化できる BIM の特徴や、現在検

討が進められている建築確認審査業務の電子化の動向を踏まえた、設計時、工事中、竣工時、供用時の各段階における電子申請に基づく建築物の技術基準への適合確認におけるBIM等の利用技術（以下、「電子申請等の技術」という。）について、現在行われている技術基準の適合確認の隘路を確認し、技術基準の適合確認に必要な情報の定義とその表現、管理に至る、電子申請等の技術に求められる技術的仕様を検討し、プロトタイプシステムの作成によりその技術的妥当性を検証するものである。

## II BIM(Building Information Modeling)とその近況について

### 1) BIMのあらまし

BIMはBuilding Information Modeling（あるいはModels）を略したもので、建築物（Building）に関わる情報（Information）を建築の立体的な形状とともに設計、施工、維持管理の段階で共通して利用できるように構造化（Modeling）して取り扱う技術のことである。

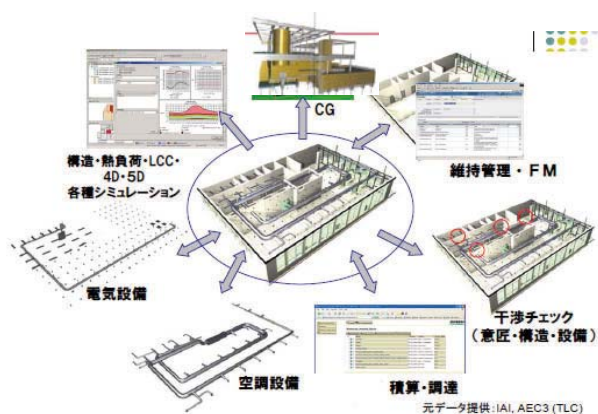


図-1 BIMモデルの利用場面<sup>1)</sup>

建築物の設計は図面として表現され、図面をコンピュータ上で表現する場合、従前はCADソフトウェアを用いて作図することになる。この場合、コンピュータ上では、図面を線分、円、円弧といった描画要素として取り扱う事で図面の表現をおこなう、CADソフトウェア上で描画する形状の建築物の意味を、ソフトウェア固有の方法で情報を蓄える。これに対し、BIMソフトウェアでは、立体形状と属性情報を併せ持つことのできるIFC（Industrial Foundation Class）により、コンピュータ内に仮想の建物を造るように建物をモデルとして作成し、図面として表現するとともに、その部位に関する属性情報も収蔵することができる。

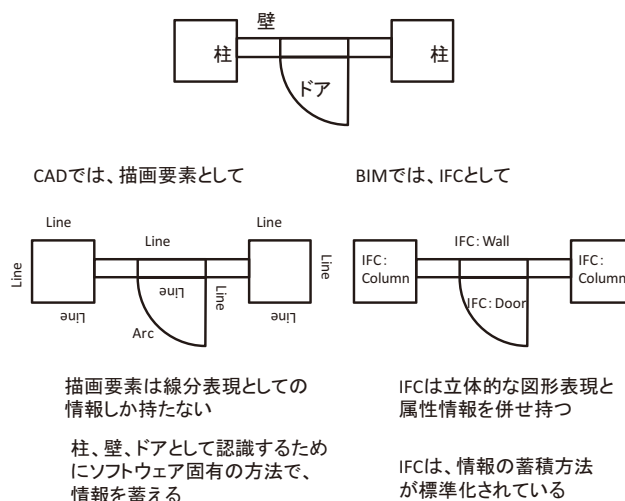


図-2 CADとBIMとの設計情報の取扱いの違い<sup>1)</sup>

IFCの歴史は古く、1994年に12社の米国CAD関連企業によって設立され、1995年から非営利の団体として運営されているIAI（International Alliance for Interoperability：開設当時は、the Industry Alliance for Interoperabilityと称した。現在のbuildingSMART）により提唱され、1997年1月にIFC Release 1.0が公表されて以降、改良・拡張を続け、2005年に、IFC2x PlatformがISO/PAS 16739（Public Available Standard：公開仕様書）として制定されたのを経て、現在は、IFC4がISO16739：2013として国際規格化されている。

我が国においても、CADの3次元化への取組みは、組織設計事務所、大手ゼネコンなどにより2000年以前より取り組まれてきたとされているが、BIMが一般に認識されることはなかった。建設ITジャーナリストの家入龍太氏によれば、BIMが広く認識される事になったのは、2009年ごろといわれており、「日本のBIM元年」とも呼ばれている<sup>2)</sup>。これは、CADの3次元化への取組みからのノウハウの蓄積と併せて、設計実務とりわけ、実施設計に供することのできるBIM設計ソフトウェアが市販されることにより、ソフトウェア導入への障壁が少なくなり、設計者側での取組みがし易くなったことが理由として挙げられる。また、この年を前後して、BIMを活用する利点について分かりやすく解説した一般向け図書の刊行やセミナー等による成功事例の紹介が相次ぎ、設計者のみならず、施主側にもBIMの感心が高まった。



写真-1 「BIM 元年」に刊行された図書の例<sup>2)</sup>

BIM の効用について、BIM が建物を 1 つのモデルとして取り扱うことによって可能となる、設計物自体、あるいは、設計部位間の干渉や、各種のシミュレーション結果を 3 次元表示する「ビジュアライゼーション」の効用が強く謳われた。これは、設計段階における施主、設計者、施工者等の合意形成を円滑にし、設計業務のフロントローディングによる生産性の向上をもたらした。

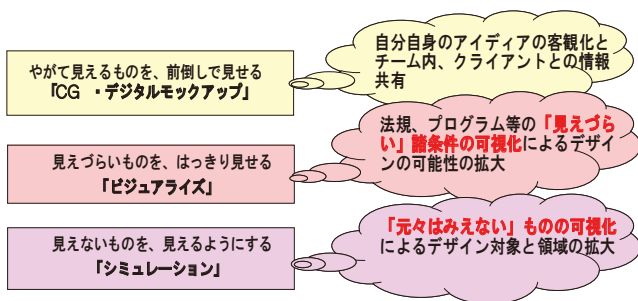


図-3 BIM 普及期に謳われた設計段階における BIM の効用<sup>3)</sup>

このような設計段階における 3 次元表現を目的とした BIM モデルの作成や、BIM モデルを用いたシミュレーションを行う事をそれぞれ、BIM 活用の高度化により、それぞれ、BIM1.0、BIM2.0 と呼んでいる。現在は、設計段階を超えて、施工段階、あるいは維持保全段階で BIM 建物データを利用する取組みも現れてきている。このような、異業種他社間で BIM 建物データを活用する取組みを、BIM3.0 と呼んでいる。BIM モデルは 3 次元の建物形状を持っているが、属性情報に、コスト情報、納期、収益、耐久性等の情報を付加して、積算や FM、LCC 分析等の利用を行う事を特に、4D、5D と称することがある。

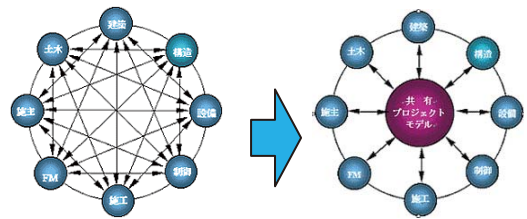


図-4 BIM3.0 における情報共有<sup>1)</sup>

BIM の利用が高度になるにつれて、収集される情報の解釈や取り扱いが、情報を利用する立場によって異なると情報の共有ができなくなる。IFC は、収集する情報の基盤構造（収集場所や収集する情報の形）を網羅的に定義しているが、共有する情報の意味や、必要とする情報を、どの場所にどのように収集するか、収集した情報をどのように取り扱うかについて定めるものではない。BIM を高度に使うためには、いわばインフラとなる IFC の上に、コンテンツとしての情報やその取り扱いについて定める必要がある。IFD (International Framework for Dictionaries : 共通となる用語の定義)、IDM (Information Delivery Manual : 利用する情報フローの定義)、MVD (Model View Definition : IDM で定義する情報の IFC からの取得法の定義) とよばれる技術要素が必要となる。

また、BIM を利用する段階が、設計、施工、維持管理と進むにつれて、取り扱う情報の内容や量が多くなり、質も高くなる。そのため、BIM の各利用段階で、どのような内容を、どの程度の水準で BIM モデルに収集するかをについて定めておく必要がある。このような必要性に対して、諸外国では建築プロジェクトにおける BIM 利用の「ガイドライン」を策定し、一般的なプロジェクトにおいて、各段階における BIM モデルで表現する建築要素やそれに付随する収集するデータの内容の水準を、LOD (Level of Detail / Level of Development) という指標で整理し、BIM を円滑に利用できるような環境を整備している。

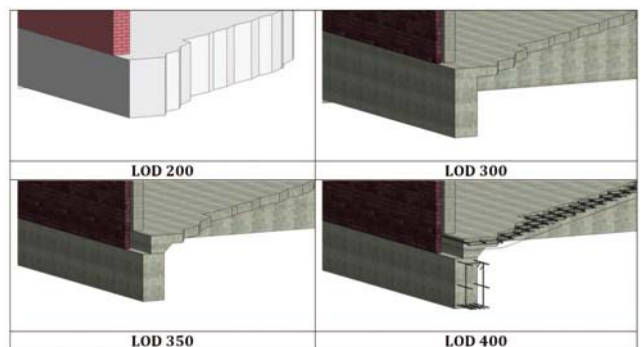


図-5 AIA(アメリカ建築家協会)の LOD による建築表現の差<sup>4)</sup>

## 2) CIB1Dayセミナーや事例調査に見る、海外 BIM 利用の近況

建築研究所は（一社）日本建設業連合会と共催で、平成 25 年 11 月 1 日、BIM および IDDS (Integrated Design and Delivery Solutions) をテーマとした国際セミナーを開催した<sup>5)</sup>。その中で、公共調達で BIM の利用が進む状況や BIM 利用の意識について、また BIM 利用を導入する側の取組みについて、フィンランド、米国、アラブ首長国連邦の事例紹介があった。

### ①フィンランド

フィンランドは建設プロジェクトに BIM を早期に利用してきた歴史があり、公共調達を司る Senate Property 社が、建築設計に BIM モデルのファイルである IFC の提出を 2007 年から義務づけていて、BIM 利用の先端を行く国として知られている。そのフィンランドにおいて建設業者に対する BIM 利用についての意識調査の結果の紹介があり、

- ・ クライアントからの要求やコントラクターからのプレッシャーが BIM 使用の強い要因になっていること
- ・ しかし他方では、多くのユーザーにとって BIM の採用はまだ明確な利益の増加にはつながっていないこと

が明らかとなり、その理由として BIM をビジネスチャンスとしてではなく、主に技術的ソリューションとして捉えている事が考えられるとした。また、明らかなのは、BIM の採用は要求が強く、継続的なプロセスであることであるため、実務においては、CAD の登場以来の最大の変化であり、新しいツールへの投資だけでなく、コアなビジネスプロセスにおける新しいスキルと変化を求めているという事が紹介された。

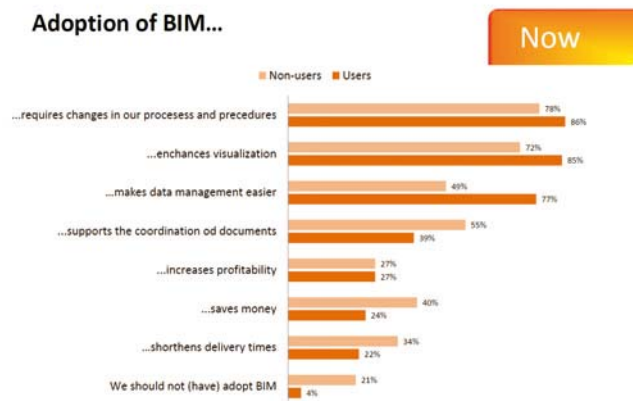


図-6 Finland の BIM 利用に関するユーザー非ユーザーの意識差<sup>5)</sup>

### ②米国

米国での取組みとして、BIM をコアとして、IPD (Integrated Project Delivery), Lean Construction, サプライチェーン等を

統合化する IDDS の取組が各主体で進みつつあり、主体間における全体最適化の検討が進んでいる事が紹介された。とくに、IPD については、我が国の建設プロジェクトにおいては、通常の契約慣行として関係企業間の調整を含んでおり、BIM 導入の動機としてあまり寄与していないと考えられるが、海外諸国では、BIM を利用することで IPD の取組みが進むものと理解されており、BIM 普及の推進力となっているという分析が紹介された。

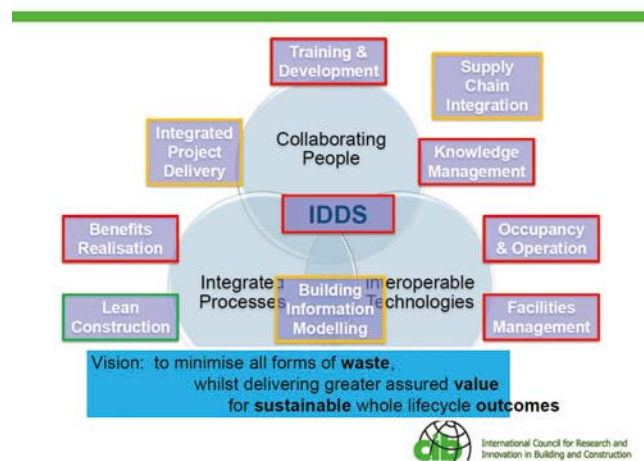


図-7 IDDS の枠組み<sup>5)</sup>

### ③アラブ首長国連邦

アラブ首長国連邦および湾岸諸国では、建設投資が旺盛で大規模プロジェクトでの BIM 利用が進みつつあり、施工側が BIM 採用について前向きであることその理由であると紹介された。一方で、BIM 技術が海外への依存度を増す結果となり、国内の建設慣行にそぐわない面も顕在化していることから、その対応を模索していることの報告があった。

## Lack of a Dominant Local Culture

- ▶ The industry is almost all foreigners
- ▶ An integration challenge far more complex than just language differences.
- ▶ Innovation faces challenge as to which standard to follow, e.g. sustainability (LEED, BREEAM,..etc)
- ▶ BIM is likely to face the same problem.

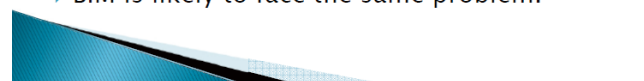


図-8 UAE における BIM 導入の障壁について<sup>5)</sup>

また、確認審査業務で電子申請とBIMを利用する事例として、シンガポール、韓国について調査を行った。

#### ④シンガポール

シンガポール政府は、その国の成り立ちから生産性向上を国是としており、建設分野の生産性向上のため、建設許可手続きの電子化を進めている。シンガポール政府建築建設局(BCA)では、CORENET という電子申請基盤を構築し、提出書類の電子申請を2004年義務化した。2007年ごろからは、BIMモデルによる建築意匠の自動審査(e-plancheck)の技術開発が行われている。開発に着手した後もしくは、BIMモデルデータによる建築確認申請は行われていなかったが、2013年以降、段階的に一定規模以上の建築物において建築申請時にBIMモデルデータの提出を義務付け、2013年7月から、20,000㎡以上の建築工事について、建築確認のため、建築意匠図に相当するBIMモデルの提出を義務化した。2014年からは構造図、設備図に相当するBIMモデルの提出を、2015年からは、対象規模を拡大し、5,000㎡以上の建築工事について、建築意匠、構造、設備のBIMモデルの提出を義務化する計画である。

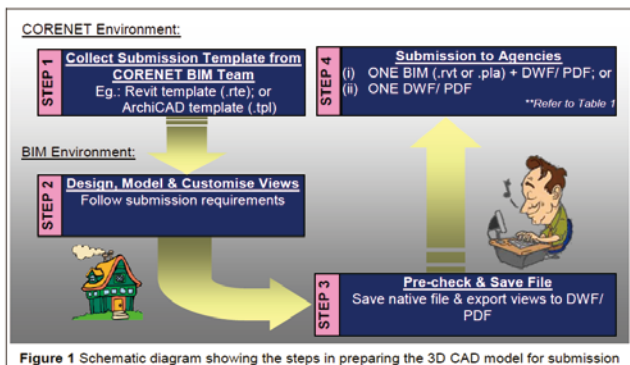


図-9 シンガポールのBIM確認申請の申請者手続きフロー<sup>6)</sup>

#### ⑤韓国

韓国政府も、建設行政の電子化を進めている国の1つであり、2001~2002年ごろにかけて整備された電子政府基盤の1つとして、建築確認業務について、SEUMTER(セウムト)と呼ばれる電子申請基盤を整備している。韓国では、2009年ごろからBIMへの関心が高まり、2010年に国土交通海洋部(MOLIT)と公共調達庁が相次いで「建築BIM適用ガイド」、「施設事業に対するBIM基本ガイドライン」を刊行している<sup>7)</sup>。また、これと並行してBIMによる法適合チェック(Automatic Code Checking)の研究に着手し、SEUMTERにその技術を適用させた次世代SEUMETER(u-SEUMTER)を開発中である。

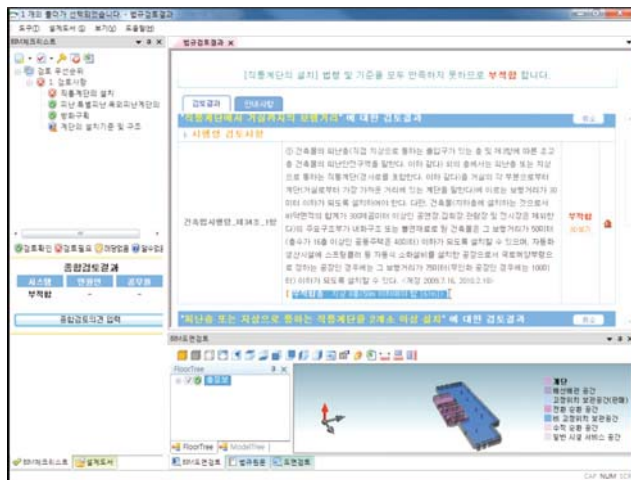


図-10 韓国のBIM自動審査システム(u-SEUMTER)

### III 建築物の技術基準への適合確認における隘路と隘路解消のための技術開発の方向性

#### 1) 建築確認審査業務における隘路

建築物の技術基準への適合確認においては、建築設計上の情報が申請図書に漏れなく記載されると共に、その記載内容について十分な整合を図る必要がある。改正建築基準法の施行による確認審査等の厳格化に伴い、申請図書の不備に対する補正の手続きも厳格化され、確認検査機関では申請図書の記載内容について、整合性の確認に相当の労力を払っている。建築確認審査の迅速化を進めるためには、申請に係る記載内容の整合性確保につながる対策が必要となっている。

また、確認審査等の厳格化と合わせて確認審査機関等における図書保存期間が15年に延長となったことから、確認審査機関では、整合性確認の負担に加え図書保存の負担が一層大きくなる結果となった。

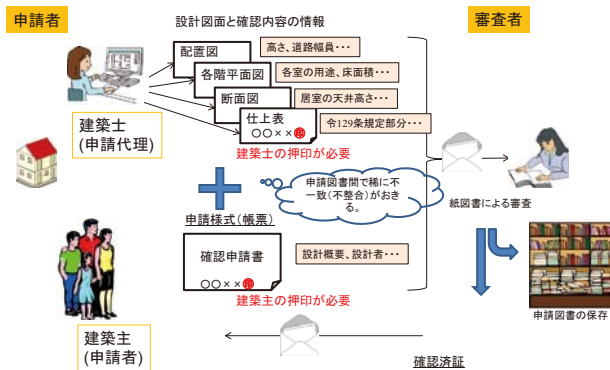


図-11 我が国の建築確認申請手続きの例

確認申請図書の保存を確実かつ容易とするために、建築確認審査業務の電子化の検討が進められている。現在においても情報通信の技術を利用した確認検査の申請、引き受け、審査の実施、交付及び処分等の通知、図書の保存（以下、電子申請等という。）については、行政手続等における情報通信の技術の利用に関する法律（通称、オンライン手続法）等の規定と、確認検査業務規程に電子申請等に実施に必要な事項を記載することにより行うことができるとされている。しかし、電子申請等の際に必要な、押印や署名に代わる措置としての電子証明書による電子署名の付与方法等に係る具体的な課題があり、審査プロセス全体の合理化につながる検討は十分ではないのが現状である。

また、申請図書の整合性確保については、申請様式、図面を作成する際に記載内容の相互関係が無いために不整合が生じると考えられることから、設計情報を BIM モデルとして一元化できる BIM の性質を確認審査のプロセスに導入することで解消すると想定される。

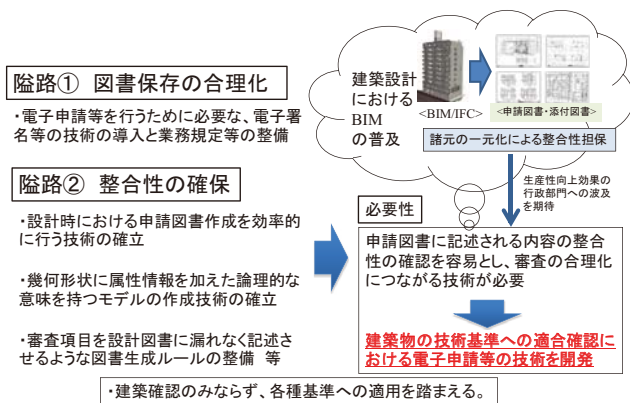


図-12 隘路解消に向けた電子申請等技術の必要性

## 2) 隘路解消のための技術開発ステップ

現行の規定においても、電子申請による確認審査業務を実施出来る事から、電子申請による確認審査と、電子申請への BIM の導入に関し、建築確認等の申請者、設計者、および確認審査機関に対するニーズ等々のヒアリングを実施したところ、おおむね以下のような回答を得ることができた。

- 紙図書作成手間が減るメリットは大きいですが、BIM の操作は煩雑であり、軽微な修正等で取扱が簡便、等の紙図書申請のメリットを上回る効果が無いと導入は難しい。(申請者)
- 紙申請時では認印の押印で足りるのに対し、電子申請時に登録印(実印)相当の効力を持つ電子署名を使用する点や、費用面で電子署名利用の抵抗感が強い。(申請者、設計者)

- 戸建住宅試行審査時の、PDF 図面の画面上の閲覧は問題なく、検査時の図書閲覧で用いることができる等、利用性は高い。(審査者)
- 長期優良等の電子審査の申請者が、建築確認での電子申請を求めている。その場合も、確認済証を紙で求めるニーズが高い(審査者)

これらから、制度的な面として、紙文書の交付が望まれる商慣行、BIM や電子証明書を利用する際の費用や、電子証明書の実効力と用途との不均整に対する懸念があるものの、電子申請に対する一定のニーズがあり、図書の閲覧という観点では実用性に足るなど、技術的な面における実用性が認められた。

この結果と、シンガポール、韓国で進んでいる、確認審査業務の電子化の取組み、あるいは、我が国の他行政部門における電子申請の取組みの経緯を踏まえ、我が国において建築物の技術基準への適合確認業務に電子申請等の技術を適用する技術段階を定め、それぞれの段階で解消する隘路と必要となる要素技術について整理を行った。

確認申請業務を電子申請等で実施するためには、従前の紙図書を電子ファイルに置き換え、情報通信により送達することから始めることが現実的である。そのことを踏まえ、電子申請等の技術を段階的に開発するイメージを提案し、これを技術開発ステップと位置付けた。

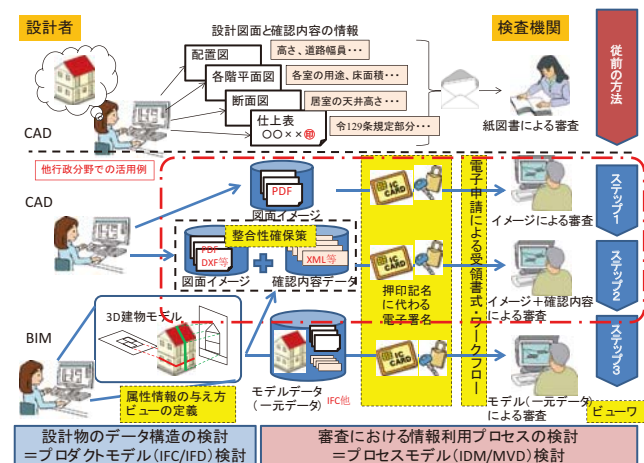


図-13 技術開発ステップ

技術開発ステップは3段階とし、紙図書を単に電子化するケース(ステップ1)、図書の内容についてデータ化し、図面ファイルの見読性の向上や審査の簡便さを求めるケース(ステップ2)、申請建築物の形状や諸元を整合性が確保された一元化データとしてまとめ、そのデータを審査に供するケース(ステップ3)



を開発段階として想定した。ステップ1、ステップ2の技術は我が国の他行政分野でも、ステップ3は、先進的な諸外国で取り組まれつつある技術水準である。

次に、ステップ1からステップ3に必要な要素技術を表に抽出整理した。

表-1 開発ステップの各段階で必要となる要素技術等

開発段階	段階の目標とやり取りされる電子図書	必要となる要素技術等	隘路への対応※	
			① 図書保存	② 整合性
ステップ1	●紙図書の電子化 紙図書のイメージ (H20 事務連絡水準)	・図書イメージデータに対応した電子署名 (多重署名、長期署名) ・電子申請等に対応した業務規程	◎	—
ステップ2	●データ化による審査の簡便化 紙図書のイメージ + 確認内容のデータ	(ステップ1に加え) ・データファイルに対応した電子署名 (多重署名、長期署名) ・図書イメージと確認内容データ間の整合性確保方法	◎	○
ステップ3	●整合性が確保された審査 (高度な審査への対応) BIM 利用を想定した一元化データ	(ステップ1に加え) ・モデルデータに対応した電子署名 (多重署名、長期署名) ・審査に必要な設計情報のモデルへの収蔵方法 (IFC/IFD) ・審査に必要なビューの定義と審査用ビューフ (IDM/MVD)	◎	◎

(※ 凡例：○：隘路解消に寄与、◎：隘路解消に大いに寄与)

電子申請等を成立させるためには、図書の真正性 (作成者の保証、内容の同一性) 確保のための電子署名の技術が不可欠となる。紙図書の手続きと比較すると、電子署名は押印に相当するものとなる。建築確認においては、申請者が建築主、設計図面は建築士がそれぞれ作成し押印して提出するため、電子署名は提出に関わる者の多重署名が要求される。また電子署名には有効期間 (数年から 10 年程度) があることから、確認審査機関に求められる 15 年間の保存期間に対応する電子署名には、長期署名の技術が必要となる。多重署名については並列に署名する方法や重層的に署名する方法などがあること、長期署名は、対応するファイル形式により異なる標準が存在する (PDF 用の PAdES、XML 用の XAdES 等) ことから、建築図面、帳票データのそれぞれに適した技術の選択が必要である。また、書類の受理、審査の業務規定に関しては、指示等の連絡、交付する文書の電子化の対応や、受付用 ASP サイト等の開発を行い、業務上支障なく電子署名、文書管理が行われることの実証的な開発が必要となる。

ステップ3のように電子申請等の技術でBIMを活用する場合、確認に必要なとなる図面の情報がBIMのデータに確実に収蔵され、審査に必要な情報が閲覧できることが必須となる。実際の設計行為において BIM が建物モデルそのものを取り扱うことから、見読に必要な寸法線が表示されない等、モデルを審査上閲覧することの困難性がある。寸法に関しては法規による定義がモデルの記述体系と必ずしも一致しないことから、法規用レイヤの設定など、ビューの定義が必要となる。これは、BIM モデルをどのように作らなければならないか、またその BIM モデルをどのような取り扱うかの 2 つの開発要素から成り立ち、前者を、プロダクトモデルの検討、後者をプロセスモデルの検討として関連を保ちつつ、建築物の設計の観点、建築物の審査の観点から別途の開発を行う必要がある。

上記は現行の手続きを電子申請等で置き換えて行う場合の技術的課題となるが、現行の手続きでは導入しがたい部分については、例えば、多重署名を代理人の署名とする等、他行政手続きの電子申請で行われている方法を参考とした代替案についても検討を行い、代替案を取り入れる等により、効果的な電子申請等の技術とする必要があると考えられる。

#### IV 確認審査における BIM 応用の検討について

##### 1) 開発対象の選定

本研究で確認審査業務の電子化と BIM の応用の開発対象として、いわゆる 4 号建築と呼ばれる小規模な 2 階建て戸建木造建築物を対象とすることとした。これには 2 つの理由がある。

1 点目は、確認審査において特例を受けることにより、確認審査の対象項目が少なくなり、消防確認同意等の、審査機関外へのプロセスについて一定の範囲で省略できること点である。これは、プロセス検討において、考慮するプロセス数が少なくなることが期待されるためである。

2 点目は、4 号建物の申請件数が、確認申請全体の 7 割強を占め、開発成果の波及が大きいことである。

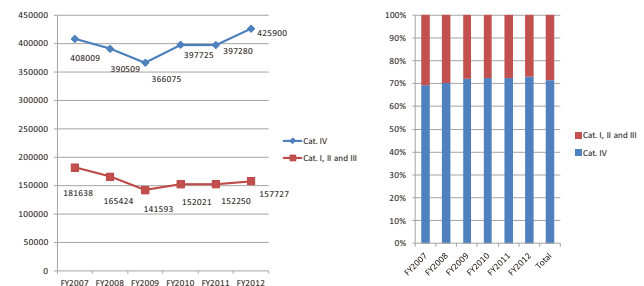


図-14 近年の建築確認件数の推移(2007-2012 年度)

## 2) プロダクトモデルの検討

プロダクトモデルの検討では、確認申請で提出する BIM モデルについて、審査に必要となる設計情報が BIM モデルデータとしてどのように収録されるか、また、データを交換する際に、発信側と受信側で異種のソフトウェアによる閲覧をすることが想定されるため、BIM モデルの閲覧互換性が確保できるかについて、調査とケーススタディを行った。

まず、設計情報の格納方法について調査を行った。建築設計実務ですでに BIM が実用となっており、BIM で設計した建築物の図面が印刷され確認審査に供されている。このことから、当該建築物については、BIM ソフトウェアを用い、データとして建築確認審査に必要な情報を格納していると言える。BIM ソフトウェアのいくつかについて、設計者（申請者）向けの、モデル作成方法、申請図書の作成方法について、「ガイドライン」と称したものが、ソフトウェアベンダにより準備されている。

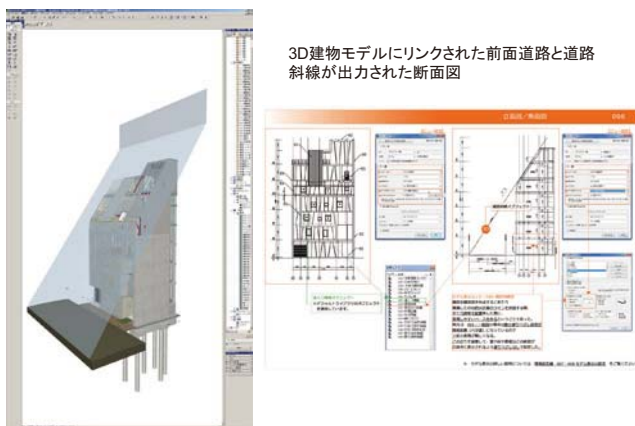
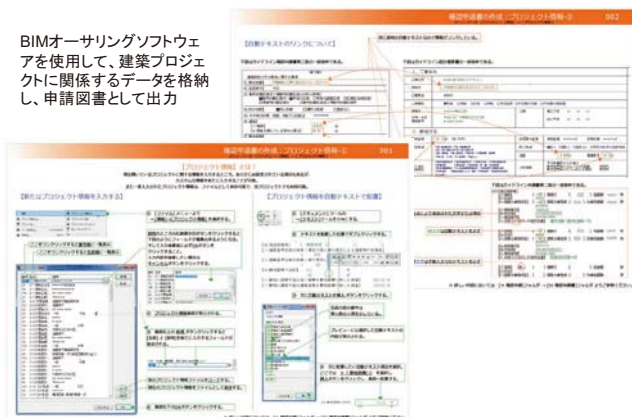


図-15 BIM ソフトウェアにおける設計情報格納手法の例<sup>9)</sup>

これらのガイドラインは、ソフトウェアの固有の機能を駆使して、確認申請上、必要十分な形式出力を得るために作られた

ものであり、必ずしも IFC 規格に適合するものではない。

次に BIM モデルの閲覧互換性について調査を実施した。この調査は、BIM 設計編集ソフトウェア 2 種 (A、R) について、それぞれのソフトウェアで作成した BIM モデルを、当該ソフトウェアから IFC 形式で出力し、別途ソフトウェアで読み込み、閲覧しうるかについて検証を行ったものである。

検証作業の結果、3 次元形状の包絡情報や建材家具等のオブジェクトといった幾何形状に係る情報や、テキストチャーや室名等の属性情報の欠落が生じることが明らかとなった。

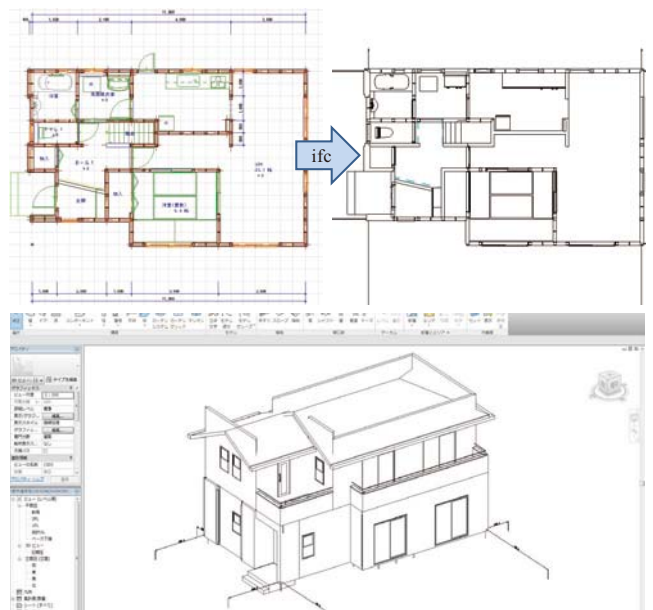


図-16 閲覧互換性検証結果の例(ソフト A→IFC→ソフト R)

以上より、現在の BIM 技術を確認審査に応用するには、BIM ソフトウェアが IFC による情報の収録について互換性を保つような改良を進める必要がある、その上で、確認審査に必要な設計情報を IFC として定義する必要がある事の確認ができた。

## 3) プロセスモデルの検討

プロセスモデルの検討では、海外先進事例であるシンガポール政府の電子申請について調査を行い、今後開発を進めるプロトタイプシステムの構成について検討を行った。

シンガポールでは、前述のように電子申請による BIM 建築モデルの提出が義務付けられているが、BIM 建築モデルを要求する審査は、GFA (Gloss Floor Area : 容積率) 算定関連の審査に限定されており、ファイルフォーマットも、ソフトウェアの固有フォーマット (Native Format) が要求されている。

Regulatory Agencies	Accepted File Format for BIM Submission	Remarks
1) All BIM submissions to URA	a. A single BIM in the native format <sup>1)</sup> : i. Autodesk Revit (.rvt); or ii. Graphisoft ArchiCAD (.pla)  b. A single light-weighted file format, as published from the similar BIM native file: i. DWF (.dwf); or ii. PDF (.pdf)	For Major project (e.g. phase condominium development), separate BIM native files can be submitted for each building block. However, a SITE BIM file linking all the buildings should be submitted.
2) BIM submissions to other regulatory agencies:	a. A single light-weighted file format, as published from the similar BIM native file: i. DWF (.dwf); or ii. PDF (.pdf)	The respective regulatory agency reserves the right to request BIM native file for verification, ONLY if necessary.

All drawing views below should be compiled in a single DWF/PDF file. Refer to Appendix C for detailed steps in publishing to DWF/PDF.  
 a. Plans, elevations, sections, layout views or sheets (refer to Appendix A for specific requirements from each regulatory agency); and  
 b. A 3D model.

図-17 シンガポール電子申請提出フォーマット一覧<sup>6)</sup>

我が国と異なり、シンガポール政府では、容積率に関する規制を都市再開発局（Urban Redevelopment Authority : URA）が所管し、構造安全性等の建築単体の規制は、建築建設局（Building and Construction Authority : BCA）が所管している。シンガポールの電子申請で提出するファイルは、BIM 建築モデルの他、2次元 CAD イメージが必要であり、BCA における審査は専ら 2次元 CAD イメージによる審査を行っている。

また、受付後の図書保存は、電子ファイルをマイクロフィルムに出力し、永年保存することとしている。つまり、シンガポールの電子審査は、申請者、審査者間および審査者内部の情報伝達に利用してに過ぎないことが分かる。また、BIM の利点である整合性の高い図書作成についても、申請図書の作成方法によっては、提出ファイル間の整合性の担保が失われる懸念も存在する。

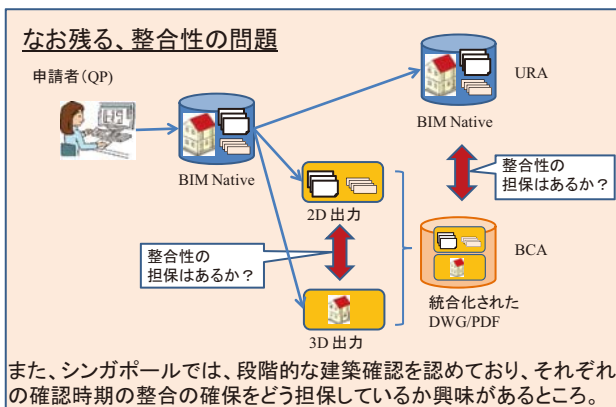


図-18 整合性喪失に対する懸念

シンガポール政府の事例調査を受けて、本研究課題で検討するプロセスモデルは、次のような目標を掲げることとした。

- 本研究で検討する電子申請は、図書保存の電子化と、整合

性確保の隘路解消が目的であるので、シンガポール e-submission に足りない技術を実装させる。

- また、将来、BIM モデルを直接建築確認審査できるような、Viewer の開発がされることを期待し、確認審査用 BIM モデルの定義を検討する。

シンガポールでは、2次元での確認審査を行っているが、その理由として、BIM 建築モデルは、単純に形状を持つデータであり、建築物の 3次元形状を閲覧する方法では、設計上の注記などの一覽性に乏しいため、建築物の審査に適さないという判断がある。これは、審査用の閲覧用ソフトウェアが、提出された BIM 建築モデルを解釈し、審査図書の表記として必要な寸法線や記載事項を表示させる機能を実装させれば問題の解決が図られる。しかし、このような機能の開発には、多くの時間、経費が必要となるため、本研究の開発では、提出用 BIM 建築モデルに、紙図書で出力する図面イメージを統合化させる方法について検討を行うことにした。

BIMモデルの閲覧による審査がなぜ困難なのか？

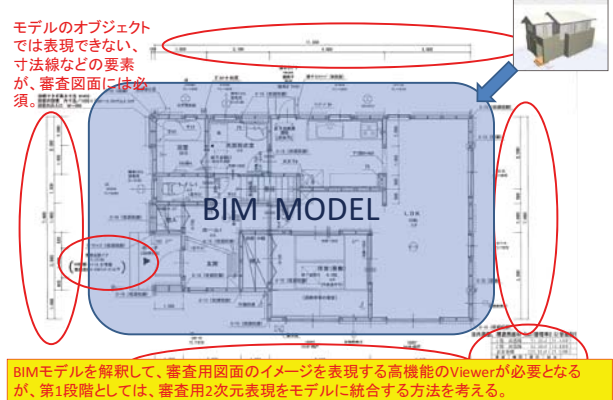


図-19 BIM 建築モデルによる閲覧審査の困難性

この場合、統合するモデルとイメージの整合性確保が問題となるが、統合化されるイメージが 1元化されたモデルから一度に生成されたことを表示させる等の措置を行い、整合性を担保させる方法を検討する。

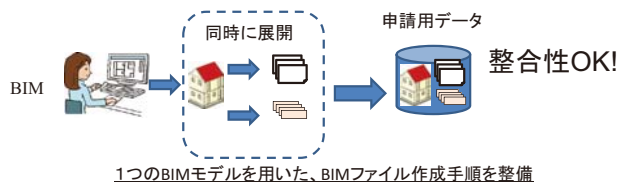


図-20 整合性確保の考え方

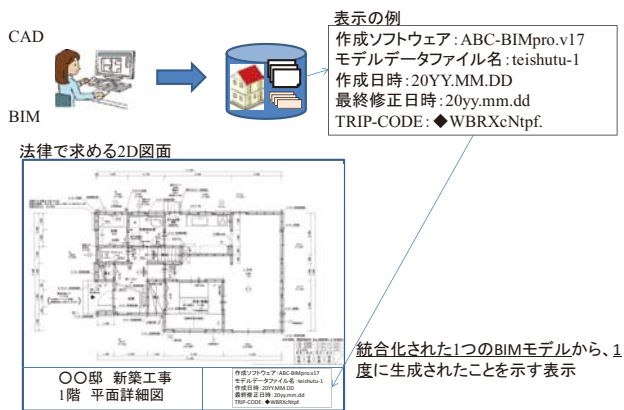
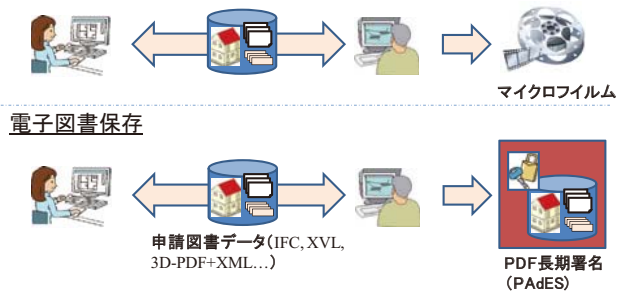


図-21 整合性担保表示の実装例

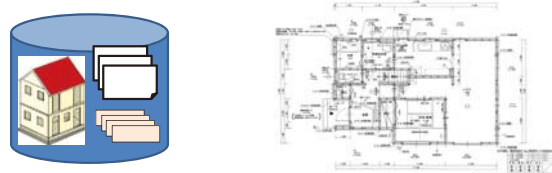
図書保存の電子化については、長期署名が鍵となる。電子ファイルの閲覧性が喪失する懸念に対する現実的な対応を取るという判断が働き、現実的な方法として、マイクロフィルムでの保存を行っているものと想像される。現在長期署名が可能なファイル形式は、PDF、XMLなどに限られることから、必要となる電子ファイルについて、ISO-32000sに定めるPDFの書式に従い、当該ファイルをPDFの添付ファイルとして格納し、格納されたPDFファイルにPAdES長期署名を施す方法を検討することにした。また、収蔵するBIM建物モデルについても、規格化されたフォーマットを基本とした構成を優先して検討することとした。

シンガポールe-submission



申請図書データを、PDF(ISO-32000s)の添付ファイル(Trailer)として統合化し、そのファイルに長期署名を添付することにより、少なくとも15年間の署名の有効性を確保する。

図-22 申請図書電子ファイルの長期保存



Contents of Data	Data Format
3D Model	IFC ( 2x4 or 2x3 )
2D Drawing	Unified to 3D Model by IFC 2D objects
Scanned Documents	PDF (unified IFC if possible)
Traceability Data	XML

図-23 確認申請用 BIM 建築モデルのデータフォーマット案

V おわりに

本研究は、3年の研究期間の2年目を終えようとしており、現在は、プロセスモデルの検討、プロダクトモデルの検討を経て、建築確認審査のプロトタイプシステムの設計試作を進めている段階である。プロトタイプシステムの構成は図のようなものであり、現在の設計試作では、開発要素の③、④に取り組んでおり、プロセスモデルの実証が可能となるよう開発を進めている。

当該設計試作は、おおむね5月末ごろに設計試作を概成させ、確認審査機関等へのデモンストレーションを経て、最終的なプロトシステムとして落成させ、建築物の技術基準への適合審査を電子申請等で実施する際の技術的仕様(案)として取りまとめることとしている。取りまとめの結果は、実務への反映のためには、特に制度的な制約等で解決すべき課題が多く見込まれることから、シーズ技術として研究成果を公表する予定である。

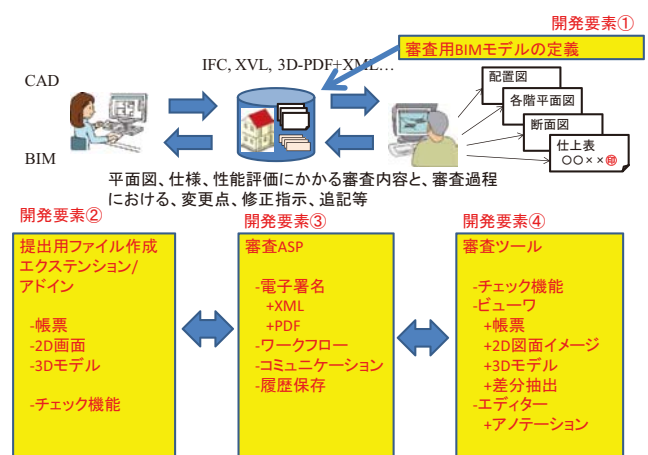


図-24 建築確認審査のプロトタイプシステム構成

## 参考文献

- 1) IAI 日本資料より引用・作成  
<http://www.building-smart.jp/>
- 2) ケンプラッツ、イエイリ建設 IT ラボ「BIM 元年！日本の導入事例が JIA で炸裂」2009/2/20 記事  
<http://kenplatz.nikkeibp.co.jp/article/it/column/20090220/530544/>
- 3) 日本建築学会地球環境委員会：BIM と CASBEE の連携～サステナブル建築の革新的な普及に向けて～,2009 年度日本建築学会大会（東北）地球環境部門パネルディスカッション資料, 2009.8
- 4) Autodesk: BIM Curriculum: Lesson 3, Things to Consider when Modeling Level of Development,  
<http://bimcurriculum.autodesk.com/lesson/lesson-3-things-consider-when-modeling>
- 5) 建築研究所：2013/11/1 BIM & IDDS 国際セミナーの開催概要  
[http://www.kenken.go.jp/japanese/research/lecture/bim\\_idds/BIM&IDDS\\_oneday-seminar.html](http://www.kenken.go.jp/japanese/research/lecture/bim_idds/BIM&IDDS_oneday-seminar.html)
- 6) BCA/Singapore: Building Information Modeling (BIM) e-Submission, Architectural Guidelines  
[http://www.corenet.gov.sg/integrated\\_submission/bim/BIM/BIM\\_Submission\\_Guideline%28v3-5%29\\_Jan10%28Official%20Release%29.pdf](http://www.corenet.gov.sg/integrated_submission/bim/BIM/BIM_Submission_Guideline%28v3-5%29_Jan10%28Official%20Release%29.pdf)
- 7) 山下純一：「海外諸国における BIM の取組み」,建設コスト研究 No.82 「特集 BIM の現状と今後の展望」, pp11-16, 2013.7
- 8) 国土交通省住宅局建築指導課：最近の建築確認件数等の状況についてより作成  
[http://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/build/jutakukentiku\\_house\\_fr\\_000032.html](http://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/build/jutakukentiku_house_fr_000032.html)
- 9) グラフィソフトジャパン：ArchiCAD BIM ガイドライン  
<http://www.graphisoft.co.jp/download/BIMguideline/>



# 火災被害軽減に向けた取り組みの現状と課題

防火研究グループ長  
萩原 一郎





# 火災被害軽減に向けた取り組みの現状と課題

防火研究グループ長 萩原 一郎

## 目次

- I はじめに
- II 研究の背景
  - 1) 防火研究の流れ
  - 2) 仕様規定から性能規定へ
  - 3) 最近の研究課題
- III 中層大規模木造建築物の火災安全
  - 1) 木造建築物の防火基準
  - 2) 木質部材の防耐火性能
  - 3) 木質内装空間の火災性状
  - 4) 木造3階建て学校の実大火災実験
- IV 既存建築物の火災安全
  - 1) 研究計画の概要
  - 2) 主な研究内容
- V 今後取り組むべき課題
- VI おわりに
  - 参考文献

## I はじめに

東日本大震災では津波火災による広範囲の被害が目撃されたが、日常的にも火災による被害は少なくない。最近では老人ホームや小規模の有床診療所で発生した火災により多くの死傷者が発生し、社会の注目を集めている。技術の発展により建築物や都市の環境も大きく変化してきているが、火災による被害は一定の大きさを維持し続けている。

このような火災による被害を軽減するために、建築研究所では建築物が備えるべき火災安全を明らかにし、火災に関する現象の解明や被害軽減に有効な防火対策について研究を進めてきた。本稿では、最近の研究内容について紹介するとともに、今後、取り組むべき防火の課題を示す。

## II 研究の背景

### 1) 防火研究の流れ

建築物の防火対策の始まりは、人が集まって住む都市において、都市大火を防ぐ目的でつくられた。1666年ロンドン大火、1871年シカゴ大火、1906年サンフランシスコ地震火災などを受け、米国の保険会社の協会が、建築物の火災安全性を確保するための技術基準を作成した。当初は、燃えない材料で建物をつくれば火災に対して強くすることができると単純に考えられていた。しかし、建物自体が燃えなくても、内部には家具などの燃えやすいものがあふれているので、火災をなくすことはできない。火災が発生すれば、建物全体に燃え広がり、最後には火災で建物が倒壊することが明らかになった。そこで火災による熱を一定の時間受けた場合でも建物が壊れないように、柱や

梁、壁や床などの部材が火災で壊れない耐火性能を確保するための研究が行われた。

19世紀から20世紀の始めには、今頃は大規模建築物の火災による人命被害が注目されるようになった。中でも劇場火災は頻発しており、数百人規模の犠牲者が発生した。特に、米国ニューヨークの古着再生工場火災（1911年）では147人もの犠牲者が発生したことを受け、全米防火協会NFPAは人命安全委員会を設置し、火災の影響を受けずに避難できる階段の構造や、短時間で避難を完了するための階段の数や幅などを避難施設基準（Building Exit Code）としてまとめた。

日本でも、江戸時代には市街地大火を防ぐ対策が定められていた。明治中期には、不特定多数の人が集まる劇場や寄席、勸工場（百貨店のはじまり）には、避難安全を目的として、階段の数や幅などが定められていた。

関東大震災後には、都市の不燃化、耐火建築物の促進が行われ、鉄筋コンクリート造の建築物が次々と出現してきた。これに伴い、ビル火災が社会的な注目を集め、白木屋火災（1932年）を契機として、避難施設の対策が検討された。当時の検討資料によれば、1つの階を複数の防火区画に分割し、それぞれに避難階段を設けるといった避難計画や、目標とする避難時間を達成するために必要な階段幅の計算方法などが示されている。

建築基準法の制定後は、被害の大きな火災が発生する度に、対策の強化が繰り返行われてきたが、それは昭和30年代から始まった火災性状の理論化と、関連する研究の成果といえる。昭和40年代には、高層ビルの出現により、火災による煙の影響が問題となった。煙による被害を防ぐために、建物内の煙流動性状の研究が行われ、煙制御の技術が進展した。また、有害な煙の発生を抑える観点から、防火材料の研究、試験方法の開発も進められた。このようにその時々火災被害の特徴に対応した研究が行われ、その成果として建築物の防火対策が徐々に整備されてきたのである。

## 2) 仕様規定から性能規定へ

これまでの防火対策は、防火基準の中に仕様書的に定められてきたが、近年は様々な不都合が見られるようになってきた。一つには、防火基準が詳細になりすぎている一方、新しい技術や材料に対応できず、建築物の大きな制約となっている場合が少なくない。また、多様な新しい空間を有する建築物に対して、仕様書的な防火対策が必ずしも適切な解を提供できず、過剰な設備を要求したり、十分な安全を確保できない場合が目立つようになった。

そのため、仕様書規定に代わり性能規定を導入することが世界的に広がり、日本でも2000年に施行された建築基準法において防火基準に性能規定が導入された。耐火性能検証法、避難安全検証法により必要な性能を有することが確かめられた場合には、仕様書規定によらず、様々な防火対策を選択することを可能とした。

建築研究所が1982～86年にかけて実施した総合技術開発プロジェクト「建築物の防火設計法の開発」（通称「防火総プロ」）では設計手法のみならず、防火設計の目的、目的を達成させるための機能要求を整理し、「建築物の火災安全上の要件」として整理した。これは、従来の法令等において要求されてきた仕様書的な防火対策を、それを必要とする目的から体系的に整理したものである。この結果、旧法第38条に基づく大臣認定を適用して、例えば、アトリウムのような大空間、加圧防排煙システム、耐火被覆を施さない鉄骨構造、木造ドームなどが実現されてきたのである。

## 3) 最近の研究課題

独立行政法人に移行後に実施された主な防火関係の研究課題を表1に示す。これらの研究課題から、以下の研究領域の問題に取り組んできたことが読み取れる。

防火材料に関しては、材料の燃焼時の特性を把握するための試験技術、試験方法に関する課題に取り組んでいる。特に、内装や外装に利用される新しい材料については、従来の試験方法では適切な評価が難しい問題があるため、新しい評価手法の検討を進めている。

構造耐火に関しては、2000年の建築基準法の改正において耐火性能検証のルートが導入されたことから、より実際に近い火災性状の予測、部材への入射熱の推定、防火区画の性能確保などの課題に取り組んできた。特に、木造建築物に対しては社会ニーズを踏まえ、火災安全上の支障が生じないように、伝統的な建築物や、大規模木造建築を実現する技術開発を進めてきた。

また、地震後の火災被害を軽減する防災対策や、その効果を評価する市街地延焼シミュレーションの改良を進め、特に火の粉による延焼危険の解明に取り組んできた。

火災安全設計について、建築基準法の更なる性能規定化を進めることを目的として、火災リスクの評価手法の開発に取り組んできた。この流れの中で、既存建築物の火災安全を確保する課題にも取り組んでいる。

以下、最近の研究課題として、大規模木造建築物の火災安全と既存建築物の火災安全の2つを取り上げて紹介する。

表1 主な研究課題

<p><b>(材料・試験方法)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 建築材料の燃焼性試験法に関する研究 (H14-16)</li> <li>・ 防火材料の性能評価試験データの信頼性向上のための試験技術の開発 (H20)</li> <li>・ 外断熱工法外壁の防火性能に関する新しい試験技術の開発 (H21-22)</li> <li>・ 発熱性に発煙性を加えた防火材料試験方法の開発 (H21-23)</li> <li>・ 有機系材料を使用した内外装システムの火災安全性能に係る評価手法の開発 (H23-24)</li> </ul> <p><b>(構造)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 建築構造物の耐火性能評価ツールの開発 (H14-15)</li> <li>・ 特殊な火災外力が想定される空間における火災性状の解明と安全性評価手法の開発 (H14-16)</li> <li>・ 可燃物の実況配置に基づく火災室温度上昇予測 (H14-16)</li> <li>・ SS400H 部材の室温から 800℃までの弾・塑性・クリープ崩壊耐力測定 (H16-18)</li> <li>・ 鋼部材の火災による崩壊の臨界点の解明 (H19-21)</li> <li>・ 熱応力・強制変形を受ける区画部材の耐火性能推定技術の開発 (H22-24)</li> </ul> <p><b>(木造)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 伝統的木造建築物の保全に資する構造・防火関連の技術開発 (H18-20)</li> <li>・ 木材の利用促進に資する中層・大規模木造建築物の設計・評価法の開発 (H23-25)</li> </ul> <p><b>(避難)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 火災時における移動困難者の避難計画 (H16-17)</li> </ul> <p><b>(市街地火災)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 火災風洞実験と CFD 解析を用いた市街地火災時の火の粉による延焼機構の解明 (H14-15)</li> <li>・ 樹木の火炎遮蔽性解明とその応用 (H14-16)</li> <li>・ 火災風洞と CFD を用いた市街地火災の延焼シミュレーションモデル (H16-17)</li> <li>・ 防災都市づくりを促進するための防災対策支援技術の開発 (H18-20)</li> <li>・ 火の粉の影響を反映した延焼シミュレーションプログラムの開発 (H21-22)</li> <li>・ 市街地防火を目指した火の粉の火持ち性状に関する研究 (H24-25)</li> </ul> <p><b>(火災安全設計)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 建築物の火災安全性能の設計・評価技術の高度化 (H17)</li> <li>・ 火災リスク評価に基づく性能的火災安全設計法の開発 (H18-20)</li> <li>・ 機能要求に対応したリスク評価に基づく建築物の火災安全検証法の開発 (H21-22)</li> <li>・ 緊急性が高い既存不適格建築物の火災安全性向上技術の開発 (H23-25)</li> </ul>
---

### III 中層大規模木造建築物の火災安全

近年、木造利用および木造建築への関心が高くなっている。大規模な木造建築物に対しては、過去の市街地火災における被害などを踏まえて、建築基準法が厳しく防火規制を行ってきた。建築分野における木材の利用を増やすためには、これまでに木材利用が困難であった集合住宅や学校、事務所ビルなどの中層・大規模建築物を木造で建築することが効果的である。

海外でも従来、大規模な木造建築は制限されてきたが、1990年代から規制緩和が進められ、現在では中層の木造建築物が可能となっている。ヨーロッパを中心に中層の木造建築物が建てられており、例えば、イギリスでは9階建ての木造集合住宅までが建築されている。日本においても、2000年の建築基準法の改正により、防火基準の性能規定化が行われ、耐火建築物を木造で建てることのできるようになった。

このような状況の中で、「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律」(2010年10月施行)が施行され、国土交通省は木造3階建て学校について、必要な研究を進めた上で規制見直しを行う方針を示した。現在、建築基準法では、3階建ての学校を鉄筋コンクリート造のような耐火建築物とすることを義務付けているが、木造で建てても火災に対して必要な安全を確保できるように研究開発を進めている。

#### 1) 木造建築物の防火基準

市街地火災による火災被害を低減するため、海外においても日本と同様に大規模な木造建築は制限されてきたが、防火基準の性能規定化とともに規制緩和が進められ、現在では中層の木造建築物が可能となっている。海外における木造に関する防火基準を調査した結果を表2に示す。

各国で違いはあるものの、概ね4階程度までは木造建築物とすることが認められている。ただし、建築物の用途による制限もあり、病院や学校は低層とすることが求められている。また、スプリンクラー設備の評価や、消防力を考慮して、木造建築物の規模制限を行っている国もある。

木造といっても、木材を現しに使うことを認めているとは限らない。いわゆる大断面木造以外では、耐火性能を求める部材には耐火被覆が要求される場合もある。

外壁に関しても、敷地境界からの距離が近い範囲には可燃性外装が認められていない。これは隣の敷地の建物との間で相互に延焼を防止するためと考えられる。外装材料だけでなく、開口部の面積や防火設備の設置に関する規制がされている。

表2 各国における木造建築物の主な防火基準

国	日本	ドイツ	ニュージーランド	カナダ	イギリス	米国
項目	MBO2002	MBO2002	NBC2010	BuldingRegulations2000	IBC2000	
木質系の耐火等級	耐火構造: 30分(非耐力外壁、階段、屋根)、1時間(最上階から数えて1~4階)、2時間(最上階から数えて5~14階)、3時間(最上階から数えて15階~) 準耐火構造: 30分(非耐力外壁、軒裏、階段、屋根)、45分、1時間	耐力部材 F60-BA、F30-B, B2(可燃) 区画壁 F60-BA+M	S-rating 崩壊防止: 隣地までの距離、外壁の開口面積、屋根の開口面積、火災区画の制限値 SP有りは1/2 F-rating 延焼防止: 避難高さ・階数、各階の火災区画の数、火災区画の面積、用途、在館者数、火災危険カテゴリ 最大90分	45分 または 1時間	樹種により炭化深さに違いあり 30分耐火: 20、25、15mm 60分耐火: 40、50、30mm	壁 最大2時間 床 最大1時間
木現し部材の有無	耐火構造: 火災後鉛直力を支える構造躯体無し、準耐火構造: 柱、はり、外壁、間仕切壁、軒裏、床、屋根、階段すべて有	無 壁・柱・梁: 全面を耐火被覆 天井(床下): 下面を耐火被覆	木造の柱、梁は内装制限の対象外	Heavy Timberに規定される断面以上であれば45分耐火となる。(Table3.1.4.7)		あり。タイプIVは大断面木造
燃えしろ設計の適用	準耐火構造、一般木造(大規模木造)	無	柱、梁、床に対応	炭化深さの記述はない。	あり	最小寸法の制限あり
外壁(可燃外装の制限)	所定の燃え抜け防止性能(非損傷性、遮熱性、遮炎性)が確認されていれば制限なし	工場: SP設置の場合、可燃性外装が可 店舗: SPなしの場合、外装は不燃性、SP設置の場合、外装に難燃性も可	境界からの距離と用途により、外装の被覆材の発熱量に制限がある。 境界から1m以内には可燃性の材料は使用できない。	外壁面積に対する、防火戸以外の開口面積の許容率が50%以上の場合、可燃性材料による仕上げが可能。ただし建物用途により、外壁の構造は45分もしくは1時間の耐火性を有するものとする。	あり 敷地からの距離1m以内または高さ18m以上の部分は可燃材の使用不可	
外壁開口部の扱い(面積制限など)	基本的になし(準防火三戸(準防火地域、木造3階建て戸建て、延べ面積500m <sup>2</sup> 以下)のみあり)		0.1m <sup>2</sup> 以下の開口は、相互に1.5m以上離せば設置可能。 境界からの距離とSPの有無により、最大の開口面積が制限される。 防火設備を設けない開口部は、防火区画ごとに高さや幅、強化までの距離により、面積の制限がある	建物用途、敷地境界からの距離と敷地境界に面する外壁面積により防火戸以外の開口面積の許容率が規定されている。 敷地境界線から25m離れた場合、建物の用途、外壁面積によらず100%となる。	あり。用途(住宅とそれ以外)、敷地境界からの距離により開口部の面積を制限。 開口部の離隔をとることであり緩和可 スプリンクラーにより緩和可。 外壁の放射熱流速12.6kW/m <sup>2</sup> で緩和可	あり。敷地境界からの距離により開口部の面積が制限される。

## 2) 木質部材の防耐火性能

建築物に要求される防火上の性能は、一般に規模が大きくなるほど、柱や梁などの部材に高い耐火性能が求められる。木材は火災に弱いとされていたので、従来、木造建築物は規模の小さなものしか建築できなかった。木材を利用した場合にも構造的に火災に強くするための対策としては、木材をせっこうボード等で被覆するメンブレン防火被覆という方法と、燃えしろ設計という方法が一般的に用いられている。(図1)

メンブレン防火被覆は、木材を燃えない材料で覆うことで、木材の温度上昇を緩やかに、燃え難くすることができる。一方、燃えしろ設計では、木が燃えて表面が炭化することにより内部へ燃え進む速度が遅くなる特性を利用している。燃えてしまう厚さ(燃えしろ)の分だけ、構造上必要な断面より大きな部材断面が必要となる。

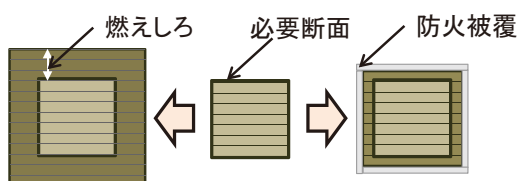


図1 燃えしろ設計とメンブレン防火被覆の概念

1990年頃までは欧米でも、2階建て程度の規模までに木造建築物は制限されていたが、現在では5階建てを超える建築物も建てられている。このような木造建築物には、新しい木質部材 CLT パネル (Cross-Laminated Timber Panel、比較的厚い断面の板を繊維の直交方向に貼り合わせたもの。図2) が多く利用されている。そこで、現行の耐火試験により CLT パネルの耐火性能を把握した。大断面集成材を用いた建築物では、燃えしろ設計を採用して木造であることが見目で分かるようにすることが多いが、現状では燃えしろ設計は、主要構造部である柱やはりだけを対象としているため、壁や床には適用することができない。そこで、CLT パネルの壁や床に対しても、燃えしろ設計を適用することができるように、炭化速度や目地部の燃焼性状などの基礎的なデータを収集した。<sup>1)</sup>

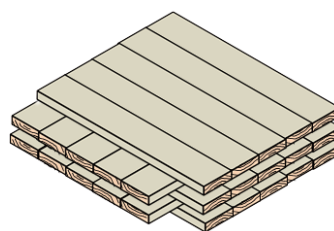


図2 CLT パネルの構成概要



写真1 加熱試験直後のCLTパネル

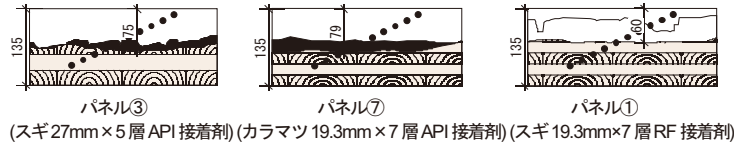


図3 CLT一般部炭化図(90分加熱)

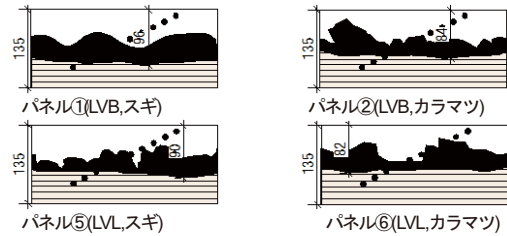


図4 LVL・LVB一般部炭化図(120分加熱)

### ①炭化性状

壁の厚さ、ラミナの厚さ、接着剤の種類、樹種、防火被覆の有無などの条件を変えたCLTパネルとLVB・LVLパネルを作成し、それらを組み合わせた壁の試験体を利用して加熱試験を行った。(写真1)

各試験体の加熱後の炭化状況を図3、4に示す。図中、黒く示した部分は実験中に脱落せず加熱後に残存した炭化層を示している。スギを用いた方が炭化速度は幾分か大きいですが、炭化層の形成には大きな差は無いことが分かる。

実験の結果、スギ・防火被覆なしCLT壁パネルでは、炭化速度は約0.7mm/分となり、構造用集成材と同程度の炭化速度となった。強化せっこうボード15mmで被覆したスギCLT壁パネルでは、炭化開始時間が20~30分抑制できるだけでなく、防火被覆が脱落しなければ、炭化速度も約0.4mm/分に低下することが示された。(図5)

また、LVB壁パネルの炭化速度は、CLT壁パネルより幾分か小さく、約0.6mm/分となった。(図6) 実験中の炉内を観察すると、CLTの方がLVB・LVLと比べて炭化層の脱落が目立つ。脱炉後の様子からは、CLTでは接着界面で炭化層がラミナごと剥離しているが、LVB・LVLパネルでは亀裂は発生するものの残存する炭化層が未炭化部分に比較的強く固着している。これは強度低下が小さい接着剤のためと考えられる。

従って、上記の結果から、CLTパネルについては、現行と同じような炭化速度を想定し、燃えしろ設計を適用することが可能と考えられる。また、防火被覆が脱落しないことを条件とすれば、燃えしろ寸法を低減させることも可能となる。これは従来の柱やはりに対しても同様に考えることができる。

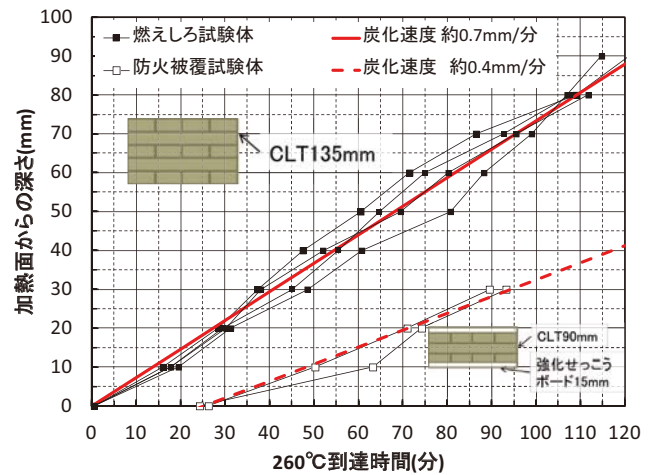


図5 スギCLT壁パネルの炭化速度

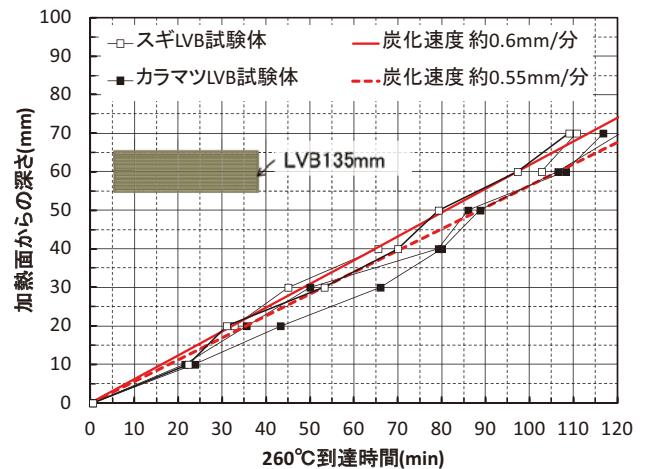


図6 スギLVB壁パネルの炭化速度

表3 荷重加熱試験体の仕様及び実験結果

試験体名	部材寸法(mm) (縦×横×高さ)	材種 接着剤 幅はぎ接着	平均含水率 (%)	ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	座屈長さ (mm) ・ 細長比※2	荷重 (kN)	座屈時間 (分)	炭化速度 (mm/分)	応力度 (残存断面) (N/mm <sup>2</sup> )	崩壊時の有効断面積※1 (mm <sup>2</sup> )
W-A		スギ ・ API ・ 無し	10.8	4.58	2300 ・ 46.2	P $\mu$ =934	-	-	20.8	-
W-1			10.3	4.53		(1/3)P $\mu$ =312	24.5	0.42※2	7.8	39855
W-2			8.9	4.50		(1/4)P $\mu$ =234	63	0.67	7.8	30000
W-3			10.3	4.67		(1/6)P $\mu$ =156	55	0.63	5.2	30000
W-4	共通(150×500×4300)		10.3	4.64			67	0.63	5.2	30000

※1 有効断面のみを考慮 ※2 座屈時間が短い小さい値となった

②荷重加熱試験

CLT パネルを構成する厚い断面の板(ラミナ)は、交互の直交しているため、直交方向は構造上荷重を支持しないと考えられる。そこで、荷重加熱試験により加熱時の性状を把握した。CLT パネルの崩壊荷重を実験で求め、その 1/3、1/4、1/6 の各水準における耐火性能を実験で求めた。(表 3)

試験体はスギ CLT パネルを用い、幅 0.5m×高さ 4.3m×厚さ 150mm(ラミナ厚 30mm×5 層、API 接着剤、幅はぎ接着なし)で作成した。平行層および直交層のラミナの強度等級は、それぞれ、L60、L40-50 を用いた。なお、壁の荷重加熱試験方法に準じて片面加熱とするため、加熱面以外の 3 面を不燃材(強化せっこうボード及びセラミックファイバー)により断熱した。

CLT の荷重加熱時の軸方向変位は、一定に増加するのではなく増加しなくなる時間がある。耐力を担保しない直交層が防火被覆の役割を果たしていると考えられ、スギ厚さ 30mm の直交層は約 20 分間試験体の耐力減少を遅らせる効果がある。(図 7)

崩壊した時間と荷重との関係を考えて、W1 では加熱面の 1 層目が炭化しただけで崩壊し、W-2 では加熱面から 3 層目が炭化して崩壊に至った。

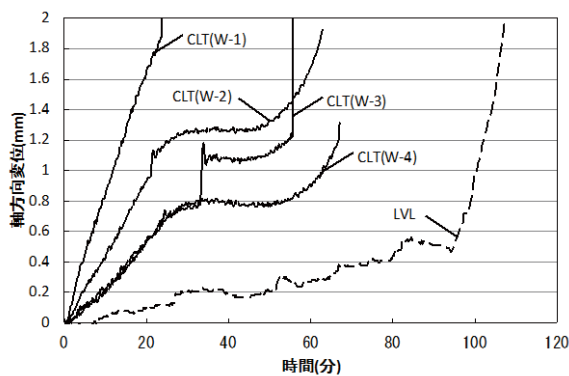


図7 軸方向変位の推移

従って、このような特性を踏まえて燃えしろ設計を定めることが重要である。例えば、表面のラミナ層の荷重負担が大きい場合は、燃えしろに防火被覆を付加することなどが必要となる。

③合わせ部材の炭化性状

大断面の部材で燃えしろ設計を行うことが基本であるが、部材の確保が困難な場合も少なくない。中断面の部材を組合せて、同じように燃えしろ設計を適用できれば都合が良い。そこで中断面の部材による合わせ部材について、炭化性状を把握した。

合わせ部材では、部材間の隙間に熱が侵入し、炭化が進む。試験体として 2 本のスギ集成材柱(120mm×240mm)を組み合わせ、部材間の隙間を 0~20mm に変化させて耐火実験を行った。

図 8 に示すように、部材間の隙間が 5mm を超えると隙間部分の炭化が進行することが明らかとなった。木材の乾燥や施工誤差等により生じる隙間が 5mm 程度以下であれば防火上は大きな問題が生じにくいと考えられる。

従って、大断面集成材を用いなくても、中断面の部材を組み合わせることで、同様の燃えしろ設計を適用できる可能性が示された。

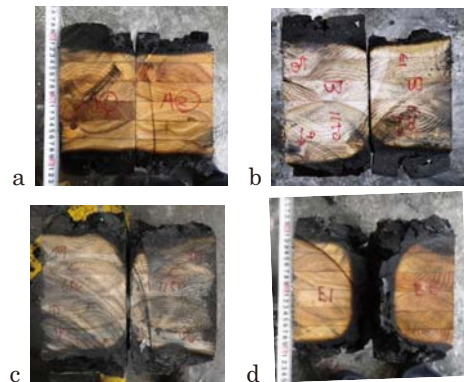


図8 合わせ部材の炭化性状  
(隙間 a 0mm、 b 3mm、 c 5mm、 d 20mm)

### 3) 木質内装の空間の火災性状

内装に木材を利用した場合、収納可燃物と内装の木材が一緒に燃えて火災時の危険性が高くなるため、建築基準法では内装制限が行われている。避難安全検証法においては、内装による火災成長率の増加分を考慮しているが、使用部位やその量に関係なく、木材であれば同じ評価となる。これは、安全側の評価となるが、性能的な評価を行うためには、木材の使用範囲や部位などを適切に評価することが必要である。

そこで、大きさの異なる2つの室（ルームコーナー試験の空間と教室規模の空間）を用いて、内装条件の違いが火災性状に及ぼす影響を把握する実験を行った。（表4）内装条件が同じでも、室面積が大きいほど火災成長が遅くなることが示された。特に教室規模の実験では、天井を不燃化した場合、内装の燃焼が局所に留まり、室全体には延焼しなかった。2) (図9)

また、教室規模の木質内装（壁、天井が木材）の実験でも、火災成長率は難燃材料に相当することが示された。今後、研究を進め、木質内装を適切に評価行うことでできれば、安全に木材を利用できる範囲を広げることが期待される。

表4 木質内装の実験空間

ルームコーナー試験装置	教室規模の空間
<p>天井高さ 2.3m 面積 約7.2㎡</p>	<p>天井高さ 2.79m 面積 約58.4㎡</p>

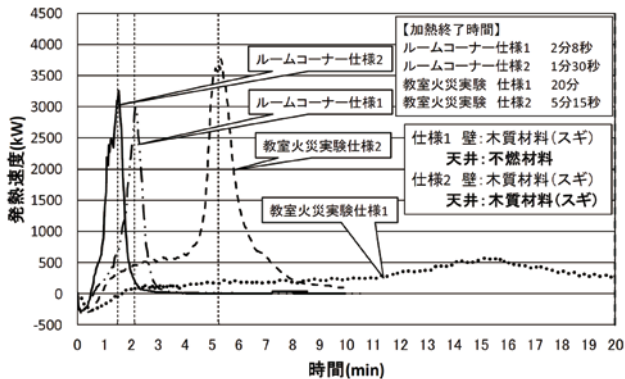


図9 木質内装の実験結果

### 4) 木造3階建て学校の実大火災実験

#### ①実験の全体計画

現行の建築基準法では耐火建築物とすることが要求されている3階建て学校を、既に共同住宅などで導入されている1時間準耐火構造の部材を用いて建設し、火災安全上の課題を明らかにするための合計3回の実大火災実験を実施した。（表5）

この一連の実験は、木造3階建て学校に対する防火規制を見直すため、平成23年度から開始された国土交通省の補助事業として実施された。

表5 実大火災実験の目的と試験体の特徴

実験の目的	試験体の特徴
予備実験 大規模木造の火災性状に関する基礎的な知見を得る	平成24年2月22日 つくば市  バルコニー・ひさし: なし 内装: 壁、床、天井は木 工法: 軸組工法、枠組壁工法
準備実験 予備実験で問題となった現象への対策の効果を確認	平成24年11月25日 下呂市  バルコニー・ひさし: あり 内装: 壁、天井は不燃材料 工法: 軸組工法
本実験 基準化に向けた知見を実大火災実験で検証	平成25年10月20日 下呂市  バルコニー・ひさし: なし 内装: 壁及び床は木、天井は準不燃材料 工法: 軸組工法

#### ②予備実験の目的と結果

目的: 予備実験では、火災が内部でどのように燃え広がるのか、また、周辺に対してどのような延焼危険が生じるのか、さらに、長時間火災が継続した場合に建物が倒壊するのかなどを把握す

ることを目的としている。<sup>3)</sup>

結果：実験は午前9時、1階職員室に点火してスタートし、比較的短時間に上階へ延焼し、建物全体に延焼拡大した。以下に、主に目視観察による延焼状況を示す。

#### i) 出火室の延焼

1階中央の職員室に置かれた什器に見立てた木材クリブに点火すると、直ぐに火炎が天井に達し、木質仕上げの天井と壁にも着火して、短時間で室内が火炎に包まれるフラッシュオーバーが発生した。(写真2)

#### ii) 出火室からの噴出火炎による上階への延焼

出火室の窓から噴出した火炎は3階に達する高さとなり、窓を通じて上階に延焼した。そのため、1階から2階、2階から3階への順番に延焼するのではなく、点火の約30分後には3層が同時に延焼する状況になった。(写真3)

その後、屋根が燃抜けて、屋根上に大きな火炎を形成し、屋根に空いた開口から火の粉が大量に噴出した。

#### iii) 防火壁を越えた延焼

点火後すぐに1階昇降口の防火戸が少し開き、隙間から大量の煙が防火壁の反対側に流入した。約19分後には、1階の開放された防火戸周辺から延焼したと考えられ、吹抜けを通じて2階へ延焼した。



写真2 噴出火炎による上階延焼 (6分後)



写真3 3層が同時に燃焼 (33分後)

#### iv) 倒壊

軸組工法部分は76分後にフレームの形状をほぼ保持したまま、北側へ倒れこむように倒壊した。枠組工法部分は60分頃から床が燃抜けて落下し、95分後には倒壊した。96分後には、防火壁が倒れ、122分後には残りの部分が全て倒壊した。

#### ③準備実験の結果

目的：予備実験では、1階の職員室から出火させた火災が、早期に上階延焼して建物全体が延焼したため、通常予想される建物内部の延焼性状などを十分に把握することが出来なかった。そこで、予備実験で明らかとなった課題に対して、対策を施した試験体を建設し、延焼防止など、様々な防火対策の効果を明らかにするとともに、建物内部の延焼性状、煙の流動性状、周囲への火災による影響、長時間火災が継続した場合の構造体への影響などを把握することを目的として準備実験を実施した。<sup>4)</sup>  
結果：出火室の燃焼は内装不燃化により局所に留まったため、再着火をした。再着火から37分後に出火室がフラッシュオーバーとなり、火炎が噴出したが、直ぐには上階へ延焼せず、2階床の燃え抜けにより延焼した。下階からの噴出火炎により開口部から3階に延焼した。階段室及び防火壁を越えた延焼は生じなかった。以下に、主に目視観察による延焼状況を示す。

#### i) 初期の火災性状

クリブに点火後、約5分後に火炎は天井に到達するが、不燃化された内装には着火せず、局所的な燃焼が継続し、フラッシュオーバーには至らなかった。そこで50分後には松明を投げ込み、窓近くのクリブに再着火させた。55分後には再び火炎は天井に到達し、天井下を火炎が水平方向に延び、87分後には大きく火炎が噴出し、出火室全体に延焼した。(写真4)



写真4 フラッシュオーバー (89分後)



## ii) 2階への延焼

出火室の南側窓からの噴出火炎は継続して3階バルコニー付近まで達した。97分後には2階の窓ガラスが割れ、室内に煙が流入したが、室内への延焼はしていない。その後、129分後に窓から離れた位置の2階クリブから突然火炎があがり、急速に天井面に沿って火炎が広がると、132分後には2階の室内全体に延焼した。開口部付近には着火がないことから、床の燃え抜けにより2階へ延焼したと推定される。(写真5)

## iii) 3階への延焼

2階の床が燃え抜けたことで、2階の南側と北側の両方の窓から大きく火炎が噴出し、屋根を超える高さまで達した。139分後には開口部から3階の室内へ延焼した。

実験シナリオ通り、3階に設けられた散水設備により散水を開始したが、同じ頃に火の粉飛散防止の金属メッシュが一部脱落したため、実験終了として外部からの放水により消火を行った。

## iv) 階段室と防火壁

階段室内のビデオカメラには68分後から薄い煙の流入が認められ、3階の煙感知器は92分後に作動した。しかし、階段室内の温度はほとんど上昇していないことから、避難上は支障が無いものと考えられる。また、防火壁の反対側には延焼が生じなかった。



写真5 2階開口部からも噴出火炎 (131分後)

## ④本実験の概要

目的：予備実験、準備実験などの結果を踏まえ、防火基準の見直しを検討するために最終的な検証を行うために本実験を行った。準備実験では、バルコニー・庇の設置が上階延焼防止上有効であることが確認されたが、今回は天井を不燃化した仕様として上階延焼の効果を検証することを目的とする。また、準備実験では安全管理上の理由で消火したため、構造体の影響につ

いて十分に把握することができなかった。そこで、火災盛期後の構造体への影響や、防火壁の効果についても、改めて明らかにすることを目的とした。

結果：最初の点火は自然鎮火したため、20分後に再着火した。出火室の燃焼は天井の不燃化により、当初は出火点近くの木仕上げの壁と収納可燃物に留まっていたが、66分後に出火室がフラッシュオーバーとなり、火炎が噴出した。外部開口を通じた延焼は、2階は82分後、3階へは87分後に生じた。階段室及び防火壁を越えた延焼は生じなかった。以下に、主に目視観察による延焼状況を示す。

## i) 初期の火災性状

クリブに点火後、木質内装の壁に着火し、約3分後には火炎は天井まで到達するが、不燃化された天井や近くの収納可燃物には着火せず、約10分後には自然鎮火した。そのため、最初の点火から20分後に再着火した。約24分後には再び火炎が天井まで到達し、火炎が継続的に天井に達する状態が継続した。点火から約66分後に天井を火炎が急速に水平方向に延びはじめ、出火室の窓から火炎が噴出し、出火室全体に延焼した。(写真6)



写真6 出火室フラッシュオーバー (68分後)

## ii) 2階への延焼

出火室の南側窓からの噴出火炎により68分後には2階南側の窓ガラスが割れ、室内に流入した煙が床近くまで降下し、全く見通しが利かない状態になった。その後82分頃には北側窓から室内に火炎が侵入し、壁が燃焼し始めると火炎が天井に沿って急速に広がり、87分後には室内全体が火炎に包まれた。(写真7)

## iii) 3階への延焼

1階及び2階からの噴出火炎は軒近くまで達し、79分頃には南側の窓ガラスが割れ、室内に火炎が漸続的に侵入した。ほぼ同じ頃に北側の窓ガラスも破損し、87分頃には開口部から3階

の室内へ延焼した。

実験シナリオ通り、3階に設けられた散水設備から散水を開始し、室内の燃焼を制御した。その後も断続的な散水を繰り返し、155分後の実験終了時には外部からの放水により消火を行った。



写真7 2階教室に延焼 (83分後)

#### iv) 階段室と防火壁

階段室内のビデオカメラには68分後から1階の防火扉の隙間から薄い煙の流入が認められ、3階の煙感知器は72分後に作動した。その後、徐々に煙が濃くなり、終了時には見通しが難しい状況になったが、階段室内への延焼は生じなかった。

また、防火壁の反対側についても防火戸の隙間を通じて薄い煙の流入が認められるものの、延焼はしていない。なお、87分後、1階からの噴出火炎が防火壁を越えて2階北側の窓付近に達し、94分後にガラスが破損したが、室内への延焼は認められなかった。



写真8 実験終了後 (翌日)

以上3回の実大火災実験の結果に加え、関連する部材実験や内装実験の結果を踏まえ、防火基準の見直し案のとりまとめを進めている。近い将来、木造3階建て学校のような大規模木造建築物が実現できる見通しである。

## IV 既存建築物の火災安全

防火規定は新たな火災危険が明らかになるたびに、規制強化を繰り返してきた結果、現行規定には適合しない既存不適格の建築物を生み出してきた。例えば、堅穴区画関連の既存不適格建築物である可能性がある建築物としては、現在約10万棟

(1969年以前に建築され、既存する非住宅ストックのうち3階建て以上の建築物数を推計)がストックとして残っていると推定される。これら既存不適格の建築物を用途変更したり、増改築・大規模修繕したりする場合には、現行の防火規定に全て適合させなければならないため、そのための費用負担が高く、防火改修が進まない原因の一つと考えられている。

防火規定の既存不適格の建築物は、法令に適合させる改修が技術的に困難な場合もあり、建て直すか、そのまま使い続けるかの選択になっている。そこで、適切な防火改修を実施し既存不適格建築物の火災安全性を向上させるため、総合的な火災安全性能評価手法を開発するための研究を進めている。

### 1) 研究計画の概要

#### ①防火規定に関する既存不適格の実態把握

防火規定に関するどのような既存不適格の建築物が多く存在し、防火改修が行われていないのか、実態を調査する。

#### ②特徴的な火災危険の類型化

堅穴区画、排煙設備等に関する不適格項目がもたらす火災危険を分析し、類型化する。人命安全など、火災危険の大きさに優先順位をつけて、効果的な対策パターンを整理する。

#### ③火災安全性能評価手法の開発

初期拡大、煙拡大などの火災進展の各段階において、既存建築物の特性を考慮した火災安全性能の評価手法を開発する。

### 2) 主な研究内容

#### ①防火規定に関する既存不適格の実態

当初、不動産管理会社等に対するアンケート調査により、防火規定に関する既存不適格建築物の状況を調査した。回答では、排煙設備や堅穴区画、防火設備に関する不適格事例が多いことが示されたが、回答数が少ないため、全体の傾向を把握するには至らなかった。

そこで、ホームページなどで公開されている貸事務所の情報を幅広く収集し、1972年以前に竣工した計画を収集し分析することにした。堅穴区画や排煙設備、重複歩行距離の規定は1969～1973年にかけて大規模の改正がなされていることから、改正前の建築物を対象にすることで、概ね既存不適格であると推定される。

② 堅穴区画が不備である場合

収集した事例の中には、階段の堅穴区画が不備と推定されるものが多く、人命安全上の点から最も大きな問題を抱えていると考えられる。例えば、下図の例では階段室の踊り場が廊下の一部となり、階段を防火区画することが困難となっている。

そこで、居室と廊下の間にある扉の遮煙性能を確保したり、居室の排煙設備を設けたりすることで、どの程度避難安全性を向上させることができるのか、以下の評価手法等を利用しながら解決策の検討を進めている。

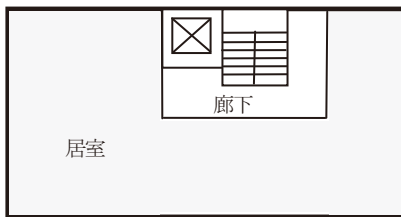


図 10 階段が堅穴区画されていない既存不適格の例

③ 火災安全性能評価手法の開発

i) 可燃物配置が異なる火災性状の予測

既存建築物では、実際にある可燃物の量や配置を把握することが可能である。防火対策として可燃物を管理した場合、その効果を評価する道具が必要となる。

そこで可燃物配置の違いが火災の初期拡大に与える影響等を把握するため、メタノール火源について配置をパラメータとした区画火災実験(区画内寸幅 2.65m、奥行 2.65m×高さ 2.65m)を実施した。同じ大きさの火源を図 11 のように異なる配置とし、区画内温度分布等を測定した。実験の結果、同じ可燃物でも配置の違いにより、区画内温度分布が異なることが示された。(図 12) また、初期火災の高温層の高さや降下時間も火源位置によって異なり、室中央では煙層は低くなり、降下時間も早い。

今後、さらに研究を進め、可燃物の実態に講じた火災性状の予測が可能となることが期待される。

ii) 堅穴空間における煙拡大性状の予測

堅穴を含む建物空間の煙流動性状の推定のため、堅穴空間の火災実験を実施した。2層ゾーンモデル BRI2002 の計算と実験結果は、堅シャフト内での周壁への失熱、空気の巻き込みに差があるが、モデルを改良することで、予測できる見通しが立てられた(図 13、14)。

既存建築物を対象とした火災安全性能の評価手法はその第一歩を踏み出したが、実用面での課題が多く残されている。今後も、個別の技術開発を進めていることが必要である。

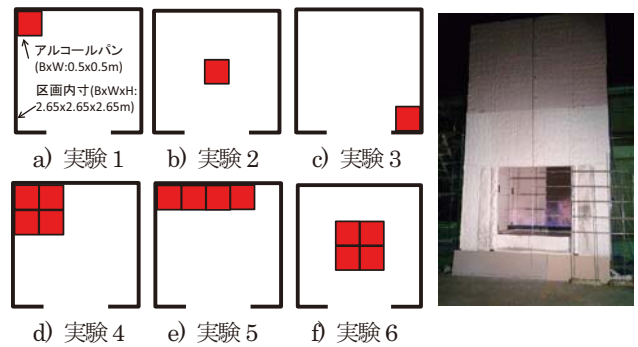
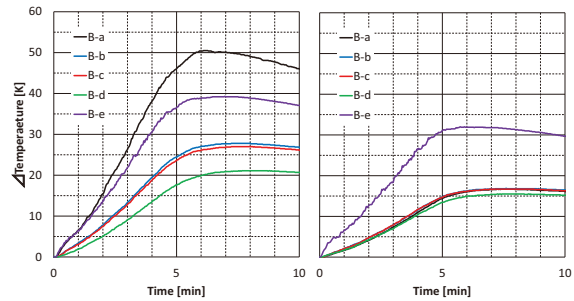


図 11 火源配置パターンと実験状況 (実験 4)



a) 実験 1(区画内奥)      b) 実験 2(区画内中央)

図 12 可燃物配置による鋼板温度の違い

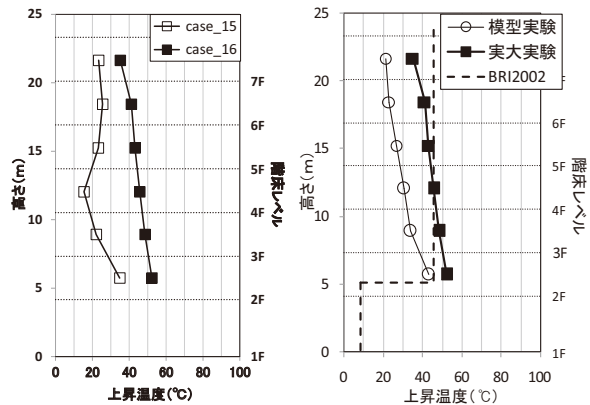


図 13 堅穴温度      図 14 実験-解析結果(BRI2002)

V 今後取り組むべき課題

以上のような研究の背景、現在及び将来の社会状況を考慮すると、今後、以下に掲げる課題に取り組むべきと考えている。

① 中小規模建築物における火災被害の軽減

従来の火災安全対策は、比較的規模の大きな建築物を対象と

して技術開発を進めてきたといえる。火災が発生して広範囲に延焼が及んだ場合には、大規模建築物や高層建築物であるほど受ける被害は深刻なものとなる。従って、火災のリスクを低くする対策が重要となり、出火そのものを低減させたり、出火した場合でも火災の影響を局所に抑える防火区画や初期消火設備を設けたりするなど、何重にも防火対策を行っている。その結果として、現状では大規模や高層の建築物について、一定の火災安全が確保されている。

一方、近年は小規模建築物の火災で多数の人命を失う事例が目立つようになってきている。防火基準は大規模に対して厳しいが、小規模に対しては緩い。また、大きな火災被害が起こるたびに防火基準は強化されてきたので、古い建築物ほど適用されている防火基準が緩いという傾向もある。建築物の火災被害を小さくしていくためには、このような小規模または古い建築物を対象にした防火対策の技術開発を充実させていくことが必要である。

### ②持続可能な社会に対応した防火対策

木材は燃えるので、従来の防火対策といえば木造の禁止または木造建築物の規模制限、木材の利用制限という側面が強いが、持続可能な社会や省CO<sub>2</sub>の実現を目的として木材利用が望まれている。そこで、火災安全を低下させずに木材を上手に利用するかが求められている。大規模木造建築物を実現するための技術開発は、その第一歩を示したものである。今後も内装や外装に木材を安全に利用するための研究が必要である。

また、いわゆるグリーンビルディングについても社会の関心が高まっている。その中には外装を2重化し環境負荷を低減する手法(ダブルスキン)があるが、火災時に堅穴として機能し、上階への煙拡大経路となる危険性が心配されている。同様に、太陽光発電パネルや木製ルーバーなどについても、火災時にどのような影響があるのか明らかになっていない問題が少なくない。このような新しい技術や材料について、火災安全の観点から適切な評価をすることが必要である。

### ③避難困難者への対応

火災時における在館者の避難は、基本的に自ら危険を認識し移動できる能力を有する人を対象にしている。しかし、障害や病気などのために、自ら避難することが困難な在館者は少なく、また、超高層建築物の高層階から階段で避難することは多くの在館者にとって容易ではない。このような在館者の避難安全をどのように確保するのが今後大きな問題となる。

自力での移動に問題がある避難困難者を対象に、火災時の避

難計画、避難施設や避難手段などを整理しなければならない。例えば、火災時の避難にエレベータを利用することができるような計画手法や技術開発が必要である。

### ④防火基準の更なる性能規定化

研究の背景でも述べたように、防火基準が仕様書的に定められてきたため、新しい技術や材料に対応できないという問題があり、2000年に改正された建築基準法では耐火性能検証法、避難安全検証法が導入された。しかし、その他の出火防止や市街地火災の抑制に関する性能規定化が進んでおらず、今後も研究を進めていくことが必要である。

特に、地震後の火災安全に関しては、地震により損傷を受けた構造部材の耐火性能の低下や、防火区画の損傷、防災機器や設備の損傷とその防止対策などに課題がある。また、地震後の市街地火災の予測に関しても、個々の建築物の防火対策の効果を反映したり、広域避難への影響を評価するためには、まだ多くの課題が残されている。

## VI おわりに

火災安全に関する研究の成果は、この四半世紀の間に広く普及し、建築物の火災安全性を向上させ、また、新しい空間の実現に貢献してきた。その一方で、その恩恵を受けられず、今後、被害が顕在化すると思われる問題も少なくない。常に災害は、最も弱いところに発生するものであるから、小さくても新しい火災被害を見つけ出し、先回りして対策を検討することが重要である。そのような課題に今後も取り組んで行く予定である。

## 参考文献

1. 中野裕晶、鈴木淳一、長谷見雄二、安井昇、萩原一郎、中川貴文、山口修由、中島史郎：木質壁式構造の燃えしろ設計・評価法の開発 CLT・LVL・LVBパネルの加熱実験、日本建築学会大会、2013.8
2. 市原卓磨、安井昇、鍵屋浩司、長谷見雄二、鈴木淳一、吉田正志：木質内装材料の燃焼発熱性状に関する研究—大規模空間における火災成長率の実験的把握—、日本建築学会大会、2012.9
3. 長谷見雄二、安井昇、加来照彦、成瀬友宏、萩原一郎、加藤詞史、蛇石貴宏、泉潤一、板垣直行、鈴木淳一、鍵屋浩司、仁井大策、吉岡英樹、林吉彦ほか：木造3階建て学校の実大火災実験(予備実験) その1~14、日本建築学会大会、2012.9
4. 長谷見雄二、安井昇、加来照彦、成瀬友宏、萩原一郎、加藤詞史、蛇石貴宏、泉潤一、板垣直行、鈴木淳一、鍵屋浩司、仁井大策、吉岡英樹、林吉彦ほか：木造3階建て学校の実大火災実験(準備実験) その1~23、日本建築学会大会、2013.8

# 建築物の竜巻被害軽減に向けた研究と課題

構造研究グループ 主任研究員

喜々津 仁密



# 建築物の竜巻被害軽減に向けた研究と課題

構造研究グループ 主任研究員 喜々津 仁密

## 目次

- I はじめに
  - II 建築物等の竜巻被害の概要
    - 1) 建築物等の被害形態
    - 2) 被害発生メカニズムの整理
  - III 竜巻状気流発生装置を活用した実験的研究の展開
    - 1) 竜巻状気流発生装置の概要
    - 2) 移動速度と卓越開口の有無を考慮した風圧実験
    - 3) 竜巻被害の事例に基づく風圧実験
    - 4) 竜巻による突風荷重モデルの提案
  - IV 竜巻を想定した設計の方向性と課題
    - 1) 重要建築物の考え方
    - 2) 竜巻の発生頻度等を考慮した最大風速の設定
    - 3) 設計法の種類
    - 4) その他の課題
  - V おわりに
- 参考文献

## I はじめに

平成24年5月6日に北関東地方を中心に複数の竜巻が発生し、つくば市内でもフジタスケールF3の竜巻(写真1・以下「つくば竜巻」)によって多数の全壊住家等の被害をもたらした。さらに平成25年9月には、2日に埼玉県越谷市から千葉県野田市にかけて幅300m、長さ19kmの広範囲にわたり1,300棟以上の被害をもたらした竜巻(以下「越谷竜巻」)をはじめ、国内で計16件の竜巻被害が報告されており、相次ぐ竜巻の発生と被害の甚大さは社会的にも大きなインパクトを与えた。

一般に竜巻は発生頻度が低く、発生した場合であってもその作用が局所的であるため、個々の建築物が竜巻による突風領域に入る確率は極めて低く、竜巻を通常の耐風設計で考慮するのは経済的に合理的ではない。また、広域的な台風時の強風と異なり気象観測網で捉えることが極めて稀であるため、設計・検

証に反映できる工学的な知見が不十分なのが現状である。

しかし、その一方でつくば竜巻による被害のなかには、工業団地での高機能化が図られた複数の事業所施設で広範囲の被害が発生し、屋内空間にも被害が波及した事例がみられた。これらの施設では構造躯体が健全である一方で、内外装材及び設備の被害が甚大であり、一時的な機能の喪失と経済的損失が生じた事例もあったといわれている。このような被害経験を踏まえれば、被害発生後の人命・財産・機能その他の影響を考慮し、通常の耐風設計の延長上で竜巻に対する配慮が求められる場合



写真1 つくば竜巻

も予想される。

上記の状況を背景にして建築研究所では、つくば竜巻の発生後から基盤研究課題「建築物の竜巻による被害発生メカニズムの解明（平成 24～25 年度）」を実施している。本稿では、まずⅡ節で近年の現地調査結果から建築物等の竜巻被害の実態を概観する。次に上記の研究課題内容のうち、Ⅲ節で竜巻状気流発生装置を活用した実験的研究の展開、Ⅳ節で竜巻を想定した設計をいかに考えるべきか、その方向性と課題についてそれぞれ述べる。

## Ⅱ 建築物等の竜巻被害の概要

建築研究所では、竜巻による建築物等の被害概要を把握することを目的に現地調査を継続して行っており、調査の詳細は建築研究所ホームページ<sup>1)</sup>にて公表している。現在までに調査を行った竜巻被害の概要を表 1 に示す。現地調査を通して、我が国で確認が報告されているフジタスケール F0 から F3 の竜巻による被害形態を系統的に分類している。

### 1) 建築物等の被害形態

平成 24 年のつくば竜巻<sup>3)</sup>、平成 25 年の越谷竜巻<sup>4)</sup>では甚大な建築物等の被害が発生し、既往の被害調査で見られた典型的な被害形態だけでなく、新たな被害形態も確認した。以下ではこ

れらの被害を例にして、建築物等の竜巻による被害形態を以下の項目に従って整理する。

- ・ 木造建築物の被害
- ・ 鉄骨造建築物の被害
- ・ RC 造建築物の被害
- ・ 飛来物による被害
- ・ その他の被害

#### ① 木造建築物の被害

木造建築物の主な被害事例を以下に示す。(a)及び(b)が外装材、(c)から(f)が構造躯体の被害形態である。

##### (a) 開口部の損壊

開口の大小によらず、竜巻による大きな面外荷重の作用や飛来物の衝突によって、開口部が損壊したと考えられる事例が確認された（写真 2）。開口部が損壊することによって、室内に被害が進展しやすい状況になる。



写真 2 開口部の損傷（つくば市）

表 1 建築研究所が調査を実施した竜巻被害の概要<sup>注1)</sup>

発生日時	調査実施場所	竜巻規模			人的被害(人)		住家被害(棟)		
		フジタスケール	被害域幅(m)	被害域長さ(km)	死亡	負傷	全壊	半壊	一部損壊
平 02. 12. 11(火) 19:13	千葉県茂原市	F3	500～1200	6.5	1	73	82	161	1504
平 14. 07. 10(水) 16:00 頃	埼玉県境町	F2	100～150	4.5	0	11	7	0	87
平 16. 06. 27(日) 07:17	佐賀県佐賀市	F2	200～400	8.0	0	15	15	25	305
平 18. 09. 17(日) 14:03	宮崎県延岡市	F2	150～300	7.5	3	143	79 <sup>注2)</sup>	348 <sup>注2)</sup>	753 <sup>注2)</sup>
平 18. 11. 07(火) 13:23	北海道佐呂間町	F3	100～300	1.4	9	31	7	7	25
平 21. 07. 19(金) 19:00 頃	岡山県美作市	F2	200	6.0	0	2	2	11	65
平 21. 07. 27(土) 14:00 頃	群馬県館林市	F1～F2	50	6.5	0	21	14	24	286
平 21. 10. 08(木) 05:00 頃	茨城県土浦市	F1	200～300	2.8	0	2	1	11	94
平 24. 02. 01(水) 04:15 頃	島根県出雲市	F0	600	7.0	0	0	0	0	6
平 24. 05. 06(日) 12:35	茨城県つくば市	F3	500	17	1	37	76	158	400
平 25. 09. 02(月) 14:00 頃	埼玉県越谷市 他	F2	300	19	0 <sup>注3)</sup>	64 <sup>注3)</sup>	14 <sup>注3)</sup>	27 <sup>注3)</sup>	1000 <sup>超注3)</sup>

注 1) 国土技術政策総合研究所と共同実施した調査事例を含む。また、発生日時と被害統計は気象庁「竜巻等の突風データベース」<sup>2)</sup>による。注 2) 他の気象現象による被害数を含む。注 3) 平成 25 年 9 月 10 日現在の統計結果による。



#### (b) 屋根ふき材と外壁材の脱落・飛散等

屋根ふき材の脱落・飛散は典型的な竜巻による被害形態の1つであり、写真3に示すような粘土瓦の被害が多く確認された。また、金属板のふき材は軽量かつ受風面積が比較的大きいため、かなり遠くまで飛散した例が確認された。

一方、外壁材の脱落はモルタル外壁（写真4）に多くみられ、外壁の下地材が腐朽している例も確認された。モルタル外壁の場合は、構造躯体のせん断変形又は面外力が生じない限り脱落しないとされているが、この例がそのいずれによるかは特定していない。



写真3 屋根ふき材の脱落・飛散 (越谷市)



写真4 モルタル外壁の脱落 (つくば市)

#### (c) 小屋組の破壊・飛散

小屋組の破壊・飛散も強風や突風による典型的な被害形態であり、多くの被害事例が確認された。写真5は切妻屋根、写真6は片流れ屋根の被害例である。外観から判断して比較的新しいと思われる住家でも被害が発生している。また(a)と同様に、小屋組が倒壊することによって室内に被害が進展する事例も見られた（写真7～8）。



写真5 小屋組の破壊・飛散 (つくば市)



写真6 小屋組の破壊・飛散 (つくば市)



写真7 小屋組の破壊 (越谷市)



写真8 写真7の住家の室内状況

#### (d) 上部構造の倒壊

上部構造の倒壊事例は、つくば竜巻、越谷竜巻双方で確認した。既に倒壊した建築物の詳細な構造仕様は把握できないが、写真9～10の木造住家では、竜巻による風圧力が建築物が保有する耐力を上回り層崩壊したと考えられる。なお、写真10の事

例は、居住者の話によると昭和54年（新耐震基準以前に相当）に建設されたとのことである。また、写真11に示す木造住家については、近隣から飛来した建築物の上部構造が衝突したことによって倒壊した可能性がある。



写真9 上部構造の倒壊（手前の建築物の残がい）（つくば市）



写真10 上部構造の倒壊（越谷市）



写真11 上部構造の倒壊（越谷市）

(e) 上部構造の水平移動・飛散

つくば竜巻では上部構造全体が飛散した建築物が見られた。写真12の事例では一部土台を残すものの、ほとんどの上部構造が飛散しているのに対し、写真13の事例では床板より上の部分が飛散している。また、上部構造が道路上に移動した事例も見られた（写真14）。



写真12 土台を含む上部構造の飛散（つくば市）



写真13 上部構造の飛散（つくば市）



写真14 上部構造の水平移動（つくば市）

(f) 上部構造の基礎を伴う転倒

つくば竜巻では写真15に示すように、べた基礎の底面が地盤から離れ、上部構造とともに完全に裏返しになった事例が見られた。これは過去の調査事例では見られなかった新たな被害形態である。



写真15 基礎を伴う上部構造の転倒（つくば市）

## ② 鉄骨造建築物の被害

鉄骨造建築物の主な被害事例を以下に示す。(a)及び(b)が外装材、(c)及び(d)が簡易な建築物の構造躯体の被害形態である。

### (a) 開口部・外壁材の損壊

つくば竜巻が通過した工業団地では、鉄骨造による事業所施設のガラス、外壁材等の損壊が確認された(写真16)。



写真16 外壁材とガラスの損傷 (つくば市)

### (b) 屋根ふき材等の脱落・飛散

鉄骨造建築物の場合も木造と同様に、屋根ふき材等の脱落・飛散の被害形態が多く見られた。写真17に示す文教関連施設では、主な被害として鋼板製の屋根ふき材及び母屋の破壊が確認されている。屋根ふき材と母屋が巻き上げられた際に、母屋に取り付けられていた天井も同時に上向きに引き上げられて破壊したと思われる(写真18)。

写真19に示す幼稚園では、ピロティの天井の一部が面的に剥がれるとともに、吊りボルトの位置で面材が破損している。天井面が上向きの力を受けたと考えられ、上向きに変形した下地やハンガーが確認された。



写真17 鋼板製の屋根ふき材及び母屋の破壊 (越谷市)



写真18 写真17に示す施設の天井の破壊 (越谷市)



写真19 ピロティの天井の被害 (越谷市)

### (c) 構造骨組の残留変形

倉庫と思われる建築物において、構造骨組の残留変形が認められた(写真20)。



写真20 骨組の残留変形 (つくば市)

### (d) 上部構造の転倒

車庫として供される鉄骨造建築物の転倒がみられた(写真21)。



写真21 上部構造の転倒 (つくば市)

### ③ RC 造建築物の被害

RC 造建築物の主な被害事例を以下に示す。RC 造建築物の場合は構造躯体の被害は確認されていない。

#### (a) 開口部・建具の損壊

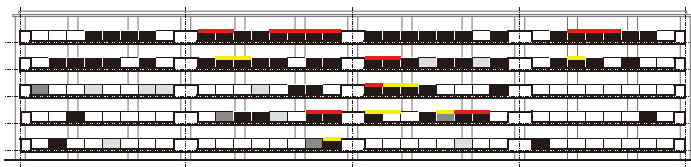
つくば市内にある RC 造 5 階建ての集合住宅では、竜巻によって南面の窓ガラス、サッシの枠、ベランダの手すり等が著しく損壊した (写真 22, 23)。開口の面積が小さいものの、北面でも同様に損壊がみられた。外観目視に基づく南面の被害分布 (図 1) を見ると、上階ほど手すり等の被害範囲が広がる傾向を示しており、本事例は竜巻作用の高さ方向の分布を把握する上で貴重な資料である。



写真 22 集合住宅(南面)の被害状況 (つくば市)



写真 23 窓とベランダ手すりの損壊 (つくば市)



部位	色	被害の状況
目隠し パネル	淡灰	軽微な衝突痕又は亀裂
	濃灰	著しい衝突痕
	黒	全面的な破壊
アルミ 手すり	黄	著しい変形
	赤	手すりの両端又は片端の離脱

図 1 集合住宅(南面)におけるベランダの目隠しパネルとアルミ手すりの被害分布

#### (b) 内装材の損壊

つくば竜巻が通過した工業団地内では、RC 造 (一部鉄骨造) の事業所施設が外装材の破損によって、天井材その他の内装材に被害が及んだ事例も確認された (写真 24~25)。机やいす等の家具等の転倒も見られた。



写真 24 内装材の被害 (つくば市)



写真 25 内装材(天井材)の被害 (つくば市)

### ④ 飛来物による被害

竜巻通過時には多数の飛来物が発生するため (例えば写真 26)、飛来物の衝突による被害も多数発生し、これは二次的な被害として位置づけられる。

写真 27 はショッピングセンターのエントランスでの衝突痕、写真 28 は飛来した屋根の衝突事例である。越谷竜巻の事例では、写真 29 に示すように上部構造全体が飛散し、近隣の住家に衝突する状況も見られた。



写真 26 電線に引掛かった飛来物(鋼板製屋根材) (つくば市)



写真 27 窓ガラスへの衝突痕 (つくば市)



写真 30 ガソリンスタンドの屋根の脱落 (つくば市)



写真 28 飛来物(屋根)の衝突 (つくば市)



写真 31 石塀の倒壊 (つくば市)



写真 29 飛来物(上部構造)の衝突 (越谷市)



写真 32 電柱の折損による屋根の被害 (越谷市)

## ⑤ その他の被害

①から④までに掲げた以外の工作物等の被害事例を以下に示す。写真 30 はガソリンスタンドでの屋根の脱落、写真 31 は石塀の倒壊、写真 32 は折損した電柱が隣家の屋根に衝突した状況、写真 33 は樹木の折損、写真 34 は比較的重量のあるトラックの横転である。写真 34 に類する例として越谷市では、鋼製コンテナの転倒事例も確認した。



写真 33 樹木の折損 (つくば市)



写真34 トラックの横転 (つくば市)

## 2) 被害発生メカニズムの整理

一般に竜巻が通過するとき、その中心付近では旋回流や急激な気圧降下が生じるほか、周囲から多くの飛来物が発生し、その結果として建築物には上向きと横向き及び飛来物の衝撃力が作用する (図 2(a))。そして、これらの荷重外力は図 2(b) に示すように建築物の外装材から構造部材、地盤へと伝達されるが、1) 項に掲げた被害形態はこの伝達経路のうち最も弱い部分が顕在化した状況として捉えることができる。

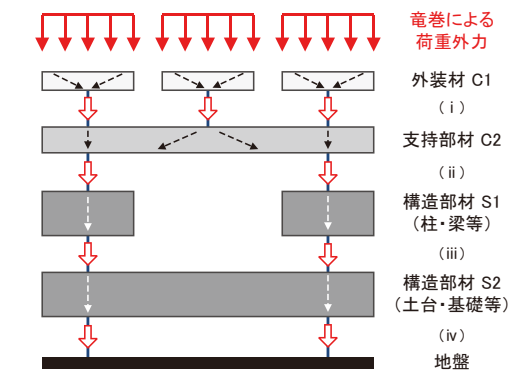
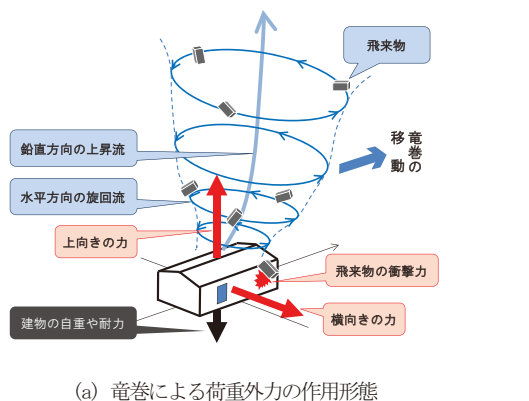


図2 竜巻による被害発生概念図

木造建築物を例にして、代表的な被害形態と荷重外力の伝達経路における弱い部分との対応を表 2 に示す。例えば被害形態 d (上部構造の倒壊) の発生要因としては、以下の状況が考えられる。

- ・せん断力が耐力壁等 (S1) の水平耐力を上回ること
- ・転倒モーメントによって生ずる力又は鉛直上向きの力が 1 階柱脚接合部 (iii) 又は土台-基礎間のアンカーボルト (S2) の引き抜き耐力を上回ること

表 2 1) 項に掲げる被害形態と荷重外力の伝達経路における弱い部分との対応 (木造建築物の場合)

1) 項に掲げる被害形態	図 2(b) に掲げる弱い部分							
	C1	i	C2	ii	S1	iii	S2	iv
a 開口部の損壊	○							
b 屋根ふき材と外壁材の脱落・飛散等	○	○						
c 小屋組の破壊・飛散			○	○				
d 上部構造の倒壊					○	○	○	
e 上部構造の水平移動・飛散						○	○	
f 上部構造の基礎を伴う転倒								○

## III 竜巻状気流発生装置を活用した実験的研究の展開

Ⅱ節 2) 項に示したように竜巻の突風によって生ずる力は、通過時の気圧降下や旋回流の接線風速がその主な要因として挙げられ、通常の乱流境界層風洞での実験で評価される風力特性と大きく異なる。しかし、竜巻による風力特性に関する実験的知見は十分に蓄積されていないのが現状である。そこで図 3 に示す突風による風力特性及び飛来物による衝撃リスクを実験的に評価することを目的に、建築研究所では国土技術政策総合研究所、東京大学、京都大学防災研究所と共同で、平成 21 年度に竜巻状気流発生装置の製作を行った。

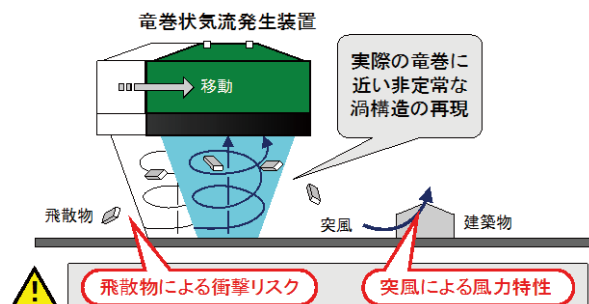


図3 竜巻通過時を想定した突風危険度の評価項目

以下の1)項で同装置の概要、2)～3)項で低層建築物模型を用いた風圧実験、4)項で実験結果に基づく竜巻による突風荷重モデルについてまとめる。

### 1) 竜巻状気流発生装置の概要<sup>5)</sup>

竜巻状気流発生装置は、米国アイオワ州立大学が所有する装置<sup>6),7)</sup>の機構に倣って設計・製作した。装置は送風機を内蔵した「本体」、横方向に自走可能な「自走式架台」、上下に昇降可能な「ステージ」及び「制御盤」から構成される。写真35に装置の概観、図4に本体の断面図をそれぞれ示す。本体の外径と送風機の直径はそれぞれ1.5m、0.5mである。図4に示すように下降流に強制的に旋回性状を与えるガイドベーンが均等に18枚配置されており、中心からの法線方向に対する角度を0～55度の範囲で設定できる。また、装置の全高は約2.3m、架台の自走範囲は原点に対して±1.4m(最大移動速度0.4m/s)である。

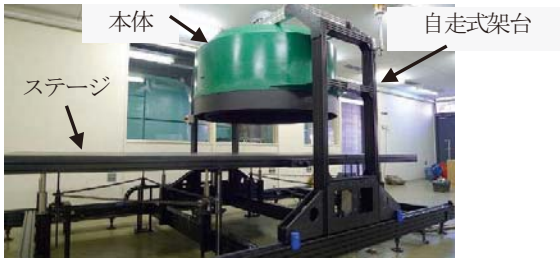


写真35 竜巻状気流発生装置の概観

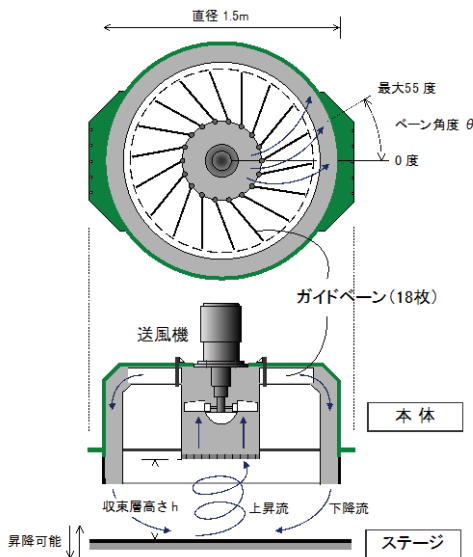


図4 竜巻状気流発生装置本体の断面図

一般に竜巻の工学モデルとして(1)～(2)式で表されるランキン渦モデルが用いられていることから、装置による実験気流が

当該モデルにどの程度対応しているか確認するため、風圧実験及びPIV (Particle Image Velocimetry) とよばれる気流可視化実験を実施した。

$$V(x) = \begin{cases} V_m \frac{|x|}{R_m} & (|x| \leq R_m) \\ V_m \frac{R_m}{|x|} & (|x| > R_m) \end{cases} \quad (1)$$

$$P(x) = \begin{cases} \frac{1}{2} P_{\min} \left[ 2 - \frac{x^2}{R_m^2} \right] & (|x| \leq R_m) \\ \frac{1}{2} P_{\min} \frac{R_m^2}{x^2} & (|x| > R_m) \end{cases} \quad (2)$$

上式において、 $V$ : 中心からの座標 $x$ での接線風速(m/s)、 $V_m$ : 最大接線風速(m/s)、 $R_m$ : コア半径(m)、 $P_{\min}$ : 最小圧力(N/m<sup>2</sup>)である。図5～6はこれらの実験結果の一例を示したもので、接線風速と圧力降下量のいずれも(1)～(2)式のモデルに適合していることがわかる。

上式を規定する数値( $V_m$ 、 $R_m$ 及び $P_{\min}$ )は、送風機の回転数制御周波数、ベーン角度及び収束層高さの調整によって制御することが可能であり、これまでの実験結果から $V_m$ は8～16m/s、 $R_m$ は50～120mmの範囲で設定できることを確認した。したがって、例えば風速の縮尺率を1/5と設定すれば、40～80m/sの実風速に相当する現象を竜巻の工学モデルとして模擬することが可能である。

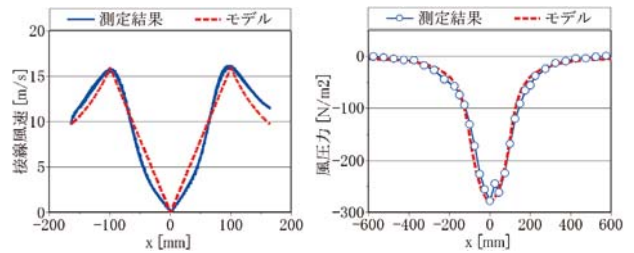


図5 実験気流の測定結果例

(a) 接線風速分布 (b) ステージ上の風圧分布

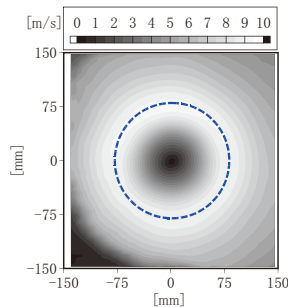


図6 平均流速場のPIV測定例  
(図中の点線は半径 $R_m$ の円周を示す)

### 2) 移動速度と卓越開口の有無を考慮した風圧実験<sup>8)</sup>

#### ① 実験の概要

本項では、竜巻が低層建築物の真上を通過することを想定した風圧実験の概要を紹介する。風圧実験は外圧だけでなく内圧

の性状にも着目し、卓越開口の有無を考慮して実施した。距離及び風速の縮尺率はそれぞれ 1/350、1/10 である。建築物の形状は梁間方向 24.4m、桁行方向 38.1m、軒高 12.2m を想定し、開口条件として模型の各壁面に一様なすき間（当該壁面積に対する面積比 0.13%）と移動方向に対して右側の壁面に矩形の卓越開口（同 3.3%）を設けている。

風圧実験はサンプリング 100Hz の条件で行い、外圧測定点は屋根面が計 20 点、壁面が計 26 点である。以下に示す風力・風圧係数は、風圧値を  $V_m$  から得られる速度圧  $1/2 \cdot \rho V_m^2$  で規準化して得たものであり、それぞれの実験条件について 10 回のアンサンブル平均結果を掲げている。また、装置の移動速度  $V_T$  は 0.06~0.36m/s の範囲、実験気流の最大接線風速  $V_m$  は 9.8m/s、コア半径  $R_m$  は 0.12m であり、これに縮尺率を考慮すれば実スケールで  $V_m=98\text{m/s}$ 、 $R_m=42\text{m}$  となる。

② 実験結果

図 7 に座標等の定義、図 8~10 に移動時における鉛直(Z)方向

及び水平(X, Y)方向の風力・風圧係数の結果をそれぞれ示す。各図の横軸は、模型中心（原点）に対する装置中心の座標  $x_s$  を旋回流のコア半径  $R_m$  で規準化した数値である。図 8~9 中の青線は屋根に作用する外圧係数  $C_{pe}$ 、赤線は屋根に作用する内圧係数  $C_{pi}$  であり、黒線は風力係数  $C_{Fz}$  で次式で算出される。

$$C_{Fz} = C_{pe} - C_{pi} \quad (3)$$

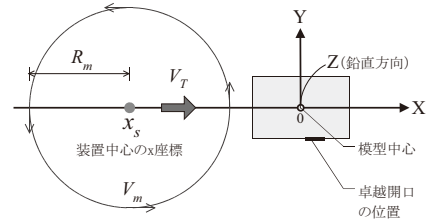


図 7 座標等の定義

i) 模型付近の渦中心と移動速度との関係

模型付近の渦中心を外圧係数  $C_{pe}$  のピーク中心（図 8~9 中の

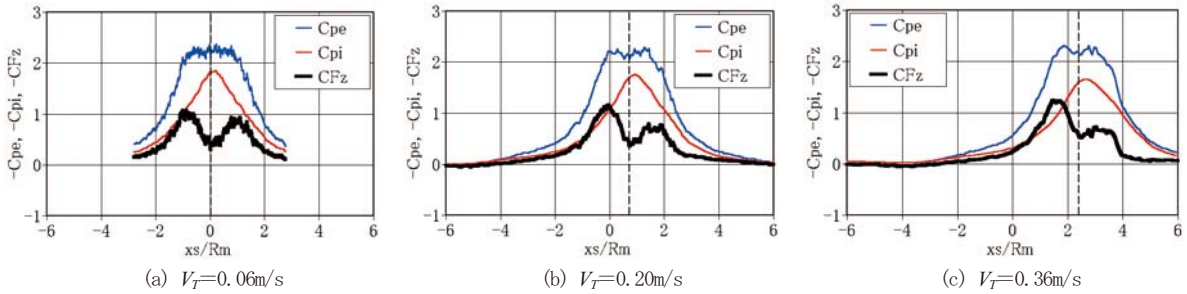


図 8 Z 方向の風力係数  $C_{Fz}$ （卓越開口がない場合）

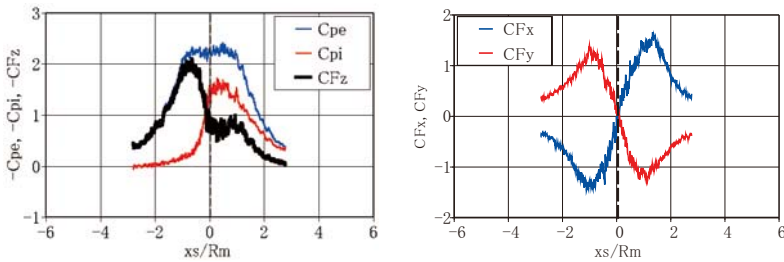


図 9 Z 方向の風力係数  $C_{Fz}$  ( $V_T=0.06\text{m/s}$ 、卓越開口を有する場合)

図 10 X, Y 方向の風力係数  $C_{Fx}$ ,  $C_{Fy}$  ( $V_T=0.06\text{m/s}$ )

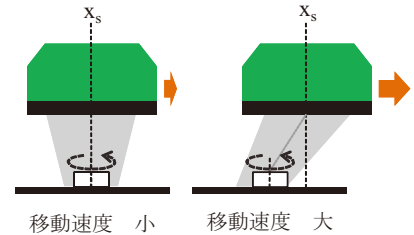
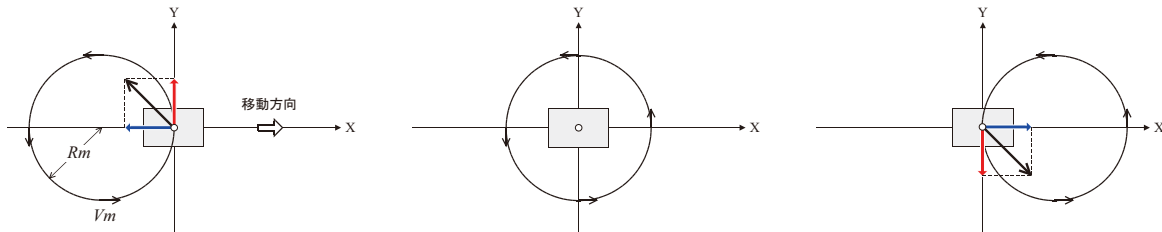


図 11 渦中心の位置と移動速度との関係



(a) 通過前に最大接線風速  $V_m$  が作用する状況 (b) 真上を通過する状況 (c) 通過後に最大接線風速  $V_m$  が作用する状況

図 12 移動する旋回流の位置と水平面内の力の作用方向との関係



点線) 及び風力係数  $C_{Fx}$ ,  $C_{Fy}$  が 0 となる位置 (図 10 中の点線) に対応するとみなす。図 8 の結果によれば、移動速度  $V_T$  が大きくなるにつれて、装置中心と模型付近の渦中心との間の距離が大きくなる傾向が認められる。これは、移動速度が速いほど渦の鉛直軸が移動方向に対して前傾する傾向が大きくなること (図 11) を示しており、その傾向は既往の竜巻模擬実験の結果<sup>8)</sup> や実際の竜巻の動画での状況とも合致している。

ii) 鉛直(Z)方向の風力係数

図 8(a) 及び図 9 に示す  $V_T=0.06\text{m/s}$  の場合を例にすると、風力係数  $C_{Fz}$  の絶対値は  $x/R_m \doteq -1.0$  又は  $1.0$  のときに最大値をとる。これは、旋回流の最大接線風速  $V_m$  が模型の中心付近に作用するタイミングに相当する。そして、卓越開口を有する場合の最大値は卓越開口がない場合の約 2 倍となり、この結果から飛来物の衝突等による大きな開口を生じさせないことが、屋根に作用する荷重の軽減に有効であることが言える。

iii) 水平(X, Y)方向の風力係数

図 10 に示す風力係数  $C_{Fx}$ ,  $C_{Fy}$  はいずれも最大・最小値は  $\pm 1.0 \sim 1.5$  であり、これらの数値は  $V_T=0.06\text{m/s}$  の場合、 $x/R_m \doteq -1.0$  又は  $1.0$  のときに生じている。この結果から Z 方向と同様に、旋回流の最大接線風速  $V_m$  が模型の中心付近に作用するときに X, Y 方向の風力が最大になることがわかる。

この結果を踏まえて、移動する旋回流の位置と水平力の作用方向との関係を図 12 にまとめる。通過前又は通過後に最大接線風速が模型中心に作用する状況 (同図(a), (c)) では、X 方向の力が旋回流の中心に向かう方向、Y 方向の力が接線風速と同じ方向であることから、それらの合力としては、移動する方向に対して通過前に左斜め後方、通過後に右斜め前方に作用することがわかる。また、旋回流の中心が模型中心と一致するタイミング (同図(b)) では水平力がほぼ 0 になるため、相対的に鉛直方向の力が大きくなる。

3) 竜巻被害の事例に基づく風圧実験

本項では、竜巻状気流発生装置を活用した被害発生メカニズムの解明の一例として、写真 15 に示す木造建築物の転倒事例を想定した突風の作用状況を実験的に再現し、実験結果に基づいて荷重の作用分布と転倒開始風速の推定を試みる。

① 実験の概要及び結果

写真 36 に上空から見た木造建築物の被害状況、写真 37 に風圧模型の設置状況を示す。この建築物は床平面が梁間方向  $D=6.5\text{m}$ 、桁行方向  $B=9.2\text{m}$ 、屋根平均高さ  $H=6.65\text{m}$  と推定されて

おり、風圧模型の縮尺率は約 1/280 である。実験気流のコア半径は  $0.12\text{m}$  なので、これに縮尺率を考慮すれば実スケールで約  $34\text{m}$  となり、被害調査結果 (約  $35\text{m}$ )<sup>3)</sup> と整合する。

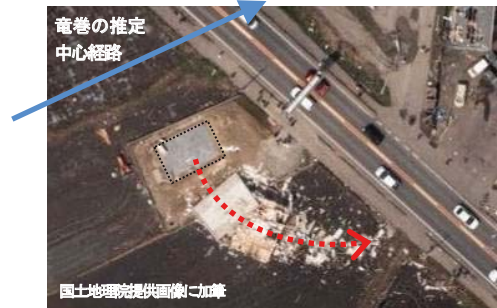


写真 36 木造建築物の被害状況

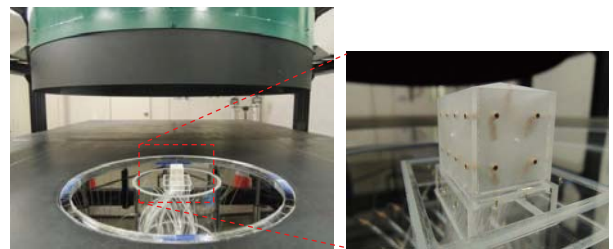


写真 37 風圧模型の設置状況

べた基礎が反転していた状況を踏まえれば、上部構造だけでなく基礎底面にも竜巻による圧力が作用していた可能性が考えられるため、模型の円盤 (地盤に相当) と建物部分が接続する位置に内径  $0.2\text{mm}$  の通気孔を複数設け、通気孔を介して伝達される内圧も測定した。この内圧が基礎底面に作用する圧力とみなす。

図 13(a) に鉛直(Z)方向の外圧係数・内圧係数、同図(b)に桁行(Y)方向の風力係数の結果を示す。通気孔の面積を 1 階床面積で除した数値は  $1.05 \times 10^{-4}$  である。上部構造の飛散した方向は移動する方向に対して右斜め前方 (写真 36) であるから、転倒開始時は、装置が模型を通過後に最大接線風速が模型中心に作用するタイミングに相当するとみなす (図 13 中の点線)。このときの風力係数は  $C_{Fz}$  = 約 0.8、 $C_{Fy}$  の絶対値 = 約 1.6 となる。

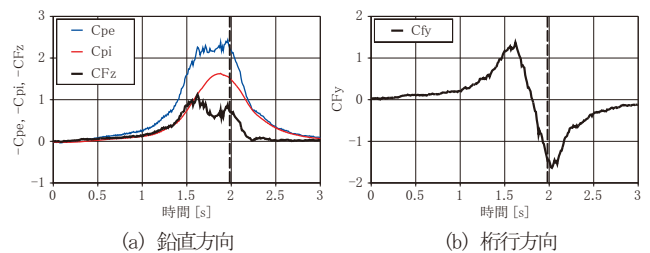


図 13 外圧係数・内圧係数・風力係数

## ② 転倒開始風速の推定

①の結果を用いて木造建築物の転倒開始風速を推定した。ここで建築物の総重量は、表3に示す仮定のもとで  $w=630.5\text{kN}^3$  とした。

表3 建築物重量算定時の仮定<sup>3)</sup>

項目	仮定
壁	外壁/サイディング、内壁/せっこうボード(飛散物より推定)
屋根	寄棟、瓦(飛散物より推定)、3寸勾配、軒の出0.455m
基礎	べた基礎(一般的な木造住家の仕様を勘案して、立ち上がり高さ0.3m、幅0.15m、底盤厚さ0.2mと仮定)
積載重量	0.3 kN/m <sup>2</sup> (地震力算定用の積載荷重の半分)
内壁壁線	桁行方向3通り、張間方向4通り(基礎立ち上がりから推定)
外壁開口率	1階30%、2階20%(一般的な木造住家を想定)

建築物の基礎回転中心周りの転倒抵抗モーメントを  $M_w$ 、水平方向及び鉛直方向の力によって生ずる転倒モーメントを  $M_h$  及び  $M_v$ 、転倒開始風速を  $V$ 、空気密度を  $\rho$  とすると、それぞれ次式で算出される。

$$M_w = w \cdot \frac{D}{2} \times 1000 \quad (4)$$

$$M_h = \frac{1}{2} \rho V^2 C_{FY} \cdot \frac{1}{2} H^2 B \quad (5) \quad M_v = \frac{1}{2} \rho V^2 C_{FZ} \cdot \frac{1}{2} B D^2 \quad (6)$$

これらの数値を用いれば、 $M_w = M_h + M_v$ より転倒開始風速  $V = 82\text{m/s}$  となる。ただし、風力係数が基礎底面と地盤面との間の通気状況、竜巻の移動速度等の実況に依存するので、風速の推定結果には幅があると考えられる。なお、気圧降下の影響を考慮せず、一様な水平流が作用することを想定した場合の風速は、上記よりも大きい推定結果( $97\text{m/s}$ )<sup>3)</sup>となっている。

## 4) 竜巻による突風荷重モデルの提案

竜巻通過時に建築物に作用する風力については、その要因を気圧降下と旋回流の作用に区別し、ランキン渦を前提としたモデル化<sup>(例えば9)</sup>がされている。しかし既往のモデルでは、2)項の実験結果で認められた開口条件に応じた内圧の効果が陽な形で表されていないため、筆者らは実験結果を踏まえて屋根に作用する風力係数のモデル化を行った。以下にその概要をまとめる。

一般に竜巻通過時に屋根に作用する力  $F_Z$  は、(7)式のように急激な気圧降下による力  $F_a$  と旋回流の直接作用による風力  $F_w$  との和で表される。そして、最大接線風速  $V_m$  で速度圧を定義すれば、風力係数  $C_{Fz}$  は上記に対応する風力係数をそれぞれ  $C_a$ 、 $C_w$  とし

て(8)式で表される。

$$F_Z(x) = F_a(x) + F_w(x) = \frac{1}{2} \rho V_m^2 C_{Fz}(x) \quad (7)$$

$$C_{Fz}(x) = C_a(x) + C_w(x) \quad (8)$$

実験気流が(1)~(2)式に示すランキン渦モデルに適合することを前提とし、各種の実験パラメータを反映することによって式展開すれば、(8)式から最終的に以下の(9)式が導出される。

$$C_{Fz}(x) = C_a(x) + C_w(x) = C_{ae}(x) + C_{we}(x) - C_i(\alpha_i, x) = \begin{cases} \frac{x^2}{R_m^2} (C_{we}^* - \alpha_i \varepsilon_r + 1) - 2(1 - \alpha_i \varepsilon_r) - (1 - \alpha_i) C_{wi}(x) & (|x| \leq R_m) \\ \frac{R_m^2}{x^2} (C_{we}^* + \alpha_i \varepsilon_r - 1) - (1 - \alpha_i) C_{wi}(x) & (|x| > R_m) \end{cases} \quad (9)$$

ここで、風圧係数  $C_{Fz}$  は当該面を押し方向を正とし、 $x$  : 屋根高さ付近での旋回流の中心(図8, 9中の点線)に対する座標、 $C_{we}^*$  : 旋回流による外圧係数、 $\alpha_i$  : 卓越開口の有無の条件に応じた数値、 $\varepsilon_r$  : すき間面積に応じた数値、 $C_{wi}$  : 卓越開口を有する場合の内圧係数である。

図14に風力係数の実験結果と(9)式との比較結果を示す。ここで、 $C_{we}^* = -1.2$ 、 $\varepsilon_r = 0.9$ であり、卓越開口がない場合は  $\alpha_i = 1$ 、卓越開口を有する場合は  $\alpha_i = 0$  とし、卓越開口に近い測定点4点での外圧の平均値を  $C_{wi}$  とした。いずれの開口条件の場合も、(9)式による風力係数は実験結果と概ね整合していることが確認できる。

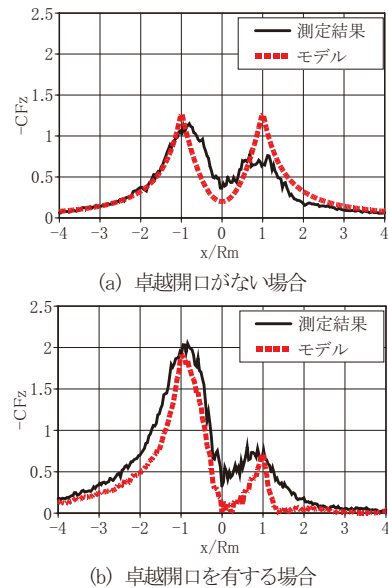


図14 風力係数  $C_{Fz}$  に関する実験結果とモデルとの比較

#### IV 竜巻を想定した設計の方向性と課題

一般に、個々の建築物が1年間に竜巻に遭遇する確率<sup>\*</sup>は $2.6 \times 10^{-5}$ と極めてまれであり<sup>10)</sup>、竜巻が発生した場合でもその作用は局所的であるといった偶発的な事象であるため、建築基準体系において竜巻の作用は想定されていない。しかし人命・財産・機能保護の観点で、竜巻による被害を最小限に軽減することが期待される重要な用途建築物（以下「重要建築物」）に対しては、設計時に竜巻による作用をいかに考慮すべきか、その考え方をきめ細かく整備することも求められる。この観点で基盤研究課題では、II～III節に示した既往の調査研究の結果、国内外での関連動向を参考にして、竜巻による作用を想定した設計（以下「対竜巻設計」）の検討を行っている。

検討に当たっては

- ・ 通常の耐風設計の延長上に対竜巻設計を位置づけること
- ・ 複数の設計法の種類を提示すること
- ・ 今後の検討すべき課題を明確にすること

の3点に留意しており、現時点での検討の概要を以下の各項にまとめる。

##### 1) 重要建築物の考え方

例えば米国のFEMAガイドライン<sup>11)</sup>では、学校、病院その他の重要な施設（Critical facilities）を対竜巻設計の対象としている。これに関連して表1に示す竜巻実績をみると、土・日曜日あるいは平日の早朝・夕方以降に発生した事例も多く、たまたま学校内での甚大な人的被害が顕在化していなかったが、つくば竜巻による被害を契機に文部科学省は学校施設の防災機能の強化（ガラスの安全対策等）を中期的な取組として掲げている<sup>12)</sup>。また平成20年に一部修正された防災基本計画<sup>13)</sup>では、竜巻等突風に対しても企業の事業継続計画（BCP）策定ニーズに応えられる条件整備が求められているが、その一方でつくば竜巻により工業団地内の複数の事業所施設が被災し、業務操業の継続に対するせい弱性も顕在化した（例えば写真16、24～25）。

設計時に竜巻等突風の作用を考慮するか否かの判断は、建築物ごとのリスク要因や重要度等を鑑みて施主又は設計者に委ねられる。それらを評価するためには複数の観点又は定量的な尺度が考えられるが、例えば文献14)では、設計対象の建築物が性能区分のどれに該当するか検討する際に考慮すべき項目（表4）を掲げており、上記判断の拠り所として参考になる。

<sup>\*</sup> 年間平均20.5個発生する竜巻が可住地（12万3千km<sup>2</sup>）に一樣に分布していると仮定した場合。

表4 建築物の性能区分の背景となる項目<sup>14)</sup>

項目	小項目	概要
リスク要因	収容人数	当該施設が収容可能な最大の人数
	滞在時間	占有者が当該施設に滞在する最大の時間
	占有者の就寝の有無	占有者が当該施設内で就寝し得るか否か
	占有者の建築物の熟知の程度	占有者が当該施設の配置や避難方法を熟知し得るか否か
	占有者のせい弱さの程度	占有者の何割程度が災害時の要援護者（高齢者等）となり得るか
ハザード要因	ハザードの性質	設計対象の作用が占有者、施設及び収容物に与えることが想定される影響
重要度	人数	当該施設に多数の人々が収容されることが想定されるか
	施設用途	当該施設に災害時・災害後の緊急対応等の機能が求められるか
	被害の可能性	広域的／長期的な人的・物的被害が生ずる可能性があるか
	地域における重要性	当該施設又はその機能が地域における経済的な安定性や重要な機能に対して責を負う可能性があるか

##### 2) 竜巻の発生頻度等を考慮した最大風速の設定

設計・検証の基本となる竜巻中心付近の最大風速 $V_{max}$ は建築基準法に定める基準風速と同様に、地域ごとに異なると考えられる。例えば米国での基準<sup>15)</sup>では、想定する年超過確率を $10^{-7}$ として、i)中西部と南西部では103m/s、ii)東部とi)の周縁では89m/s、iii)西部では72m/sと地域に応じた風速を設定している。

これと同様に我が国を対象にした検討例として、「竜巻等の突風データベース」<sup>2)</sup>を活用して都道府県ごとの最大風速を検討した結果を以下に示す。対象期間は1961～2012年（52年間）であり、まず(10)式で年超過確率 $P_a$ を算出する。ここで、 $P_a$ ：フジタスケール(FS)が $j$ 以上の竜巻の年超過確率(1km<sup>2</sup>当たり)、 $T$ ：対象期間(=52)、 $A$ ：当該都道府県の面積(km<sup>2</sup>)、 $n_k$ ：当該都道府県でのフジタスケール $k$ の発生回数である。

$$P_a(FS \geq j) = \frac{1}{TA} \sum_{k=j}^3 n_k \quad (10)$$

上式で算出した結果に基づき、同じ年超過確率 $P_a$ を基準にしたときの都道府県別の(フジタスケールに対応した)風速値を図15に示す( $P_a=10^{-5}$ 、 $10^{-6}$ の場合)。同じ年超過確率で比較すると、例えば関東平野、濃尾平野又は宮崎平野等を含む地域の最大風速が相対的に大きく評価されることが分かる。これは簡単な検討例であるが、より詳細に竜巻ハザードを検討する場合は年発生数の確率分布、最大風速の確率密度関数の設定等が求め

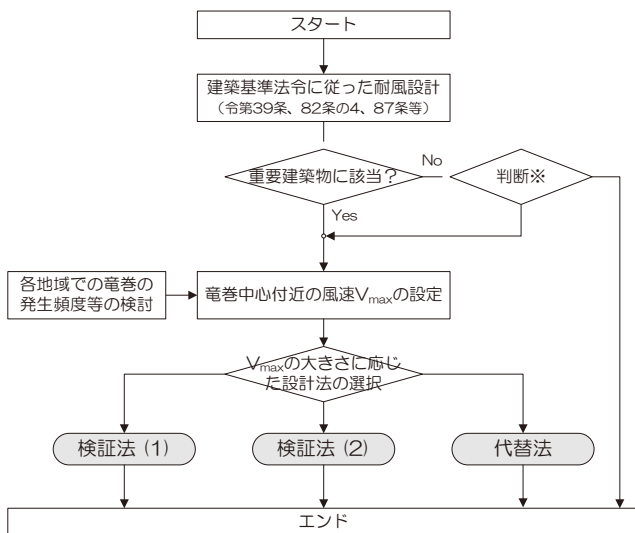
られる。さらに3)項に示す設計法において、例えば性能目標ごと(人命保護・機能維持等)、部位ごと(構造躯体・外装材等)に発生頻度を想定することも考えられるが、この数値の具体的な設定に関する検討と合意形成が今後の課題である。



図15 年超過確率  $P_a$  の大きさに応じた都道府県別風速値

### 3) 設計法の種類

1)、2)項に示した建築物の重要度及び竜巻の最大風速の設定条件を踏まえ、対竜巻設計の考え方を以下にまとめる。図16に対竜巻設計のフロー、表5に最大風速の大きさに応じた設計法のイメージを示す。ここでは設計法の種類を便宜上、「検証法(1)」、「検証法(2)」及び「代替法」と呼ぶ。



※) 判断とは、設計者の設計方針に基づく判断のこと。重要建築物に該当しない場合であっても、竜巻を想定した詳細な設計を選択する判断等のことを示している。

図16 建築物の対竜巻設計フローのイメージ

表5 最大風速の大きさに応じた設計法のイメージ

設計法の種類		$V_{max}$ の目安		
		約20~50m/s	約50~70m/s	約70m/s~
検証法	(1) 竜巻の作用を直接考慮した突風荷重による計算	○	○	○
	(2) 建築基準法等に定める数値を割り増した荷重を準用した計算	○	△	△
代替法	屋根や開口部等について、耐風性能の向上に配慮した構造方法の採用	○	△	—

凡例)

○：当該方法によることができる。

△：当該方法によることができるが、竜巻の中心付近での気圧降下の影響には慎重な判断を要する。

—：当該方法以外の方法による。

注) 「 $V_{max}$ の目安」には例として、フジタスケールF0~1、F2、F3に概ね対応する風速値を表記しているが、今後の調査研究に基づいて数値が変更される可能性がある。

#### ① 検証法(1)

検証法(1)は、竜巻の作用を直接考慮した突風荷重を用いて計算するものであり、竜巻による突風荷重  $W_t$  は次式で表される。

$$V_m = V_{max} - V_t \quad (11.1)$$

$$W_t(x) = \frac{1}{2} \rho V_m^2 \cdot C_F(x) \cdot v(x) \quad (11.2)$$

ここで、 $V_m$ ：旋回流の最大接線風速、 $V_{max}$ ：竜巻の中心付近の最大風速、 $V_t$ ：竜巻の移動速度、 $\rho$ ：空気密度、 $x$ ：竜巻の中心に対する位置(座標)、 $C_F$ ：竜巻の作用を直接考慮した風力係数、 $v$ ：ばらつきを考慮した補正係数である。例えば屋根の場合には(9)式が  $C_F$  に相当し、この式によれば、竜巻の中心付近での非定常な流れ場の気流性状や急激な気圧降下による荷重の効果を検証時に考慮することができる。限られた条件下であるが、(9)、(11)式及び図14の結果を用いて屋根に作用する突風荷重  $W_t(-R_m)$  を検討した例を図17に示す。

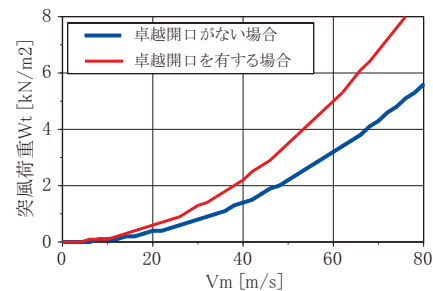


図17 (9)、(11)式で算出した竜巻による突風荷重  $W_t$

なお筆者の知る限り、現時点で検証法(1)の考え方が国内外の基準に採用された例はないと思われる。実験や解析による知見を蓄積して、竜巻状渦—建築物間の相対的な(大小・位置)関係、竜巻の進行速度、地表面粗度の程度等を考慮し、風力係数の精緻化を図ることが今後の課題である。

## ② 検証法(2)

検証法(2)は、建築基準法その他の基準に定める数値を割り増した荷重を準用して計算するものであり、当該荷重  $W_w$  は次式で表される。

$$W_w = \frac{1}{2} \rho V_{\max}^2 C_F \quad (12)$$

ここで、 $C_F$ ：建築基準法その他の基準に定める風力係数である。この方法は、例えば米国のFEMAガイドライン<sup>11)</sup>、ストームシェルターの設計規準<sup>16)</sup>、原子力発電施設の規準<sup>15)</sup>、我が国の原子力発電所の竜巻影響評価ガイド<sup>17)</sup>での検証の考え方に該当する。設計上の配慮として、例えば文献16)では、飛来物の衝撃によって大開口ができる場合を想定して、「閉鎖型」の建築物であってもあらかじめ「開放型」とみなし、内圧係数を安全側に設定することが定められている。

また、この方法によって急激な気圧降下による荷重を併せて考慮する場合には以下の2通りが考えられ、検証法(1)の簡便な方法として位置づけることができる。ただし、いずれも実況を反映した内圧の特性を考慮することは難しいと思われる。

### i) 文献15)、17)の考え方

文献15)及び17)では次の2式によって検証することを提案しており、(13.1)式は最大風速が作用する状況、(13.2)式は竜巻の渦中心と建築物の中心が一致する状況を想定していると考えられる。

$$W_t = W_w + 0.5W_p \quad (13.1)$$

$$W_t = W_p \quad (13.2)$$

ここで、 $W_t$ ：竜巻による突風荷重、 $W_p$ ：気圧差によって生ずる荷重であり、想定される最大接線風速  $V_m$  を用いて(14)式で表される。

$$W_p = \rho V_m^2 \left( = \frac{1}{2} \rho V_m^2 \cdot 2.0 \right) \quad (14)$$

### ii) 文献18)の考え方

文献18)での提案式を(15)式に示す。ここでは気圧差によって生ずる負圧を考慮するため、ASCE7<sup>19)</sup>に従って算出した荷重  $W_w$  を竜巻の強さに応じて割り増すこととしている。次式において、

$W_t$ ：竜巻による突風荷重、 $a$ ：負圧の割り増し係数であり、改良フジタスケールEF2以下が1.5、EF3が2.0である。

$$W_t = a \cdot W_w = a \cdot \frac{1}{2} \rho V_{\max}^2 C_F \quad (15)$$

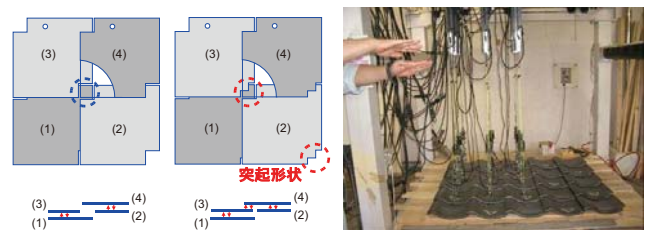
## ③ 代替法

代替法は上記の検証法の代替として、フジタスケールF2相当以下の風速を想定した設計法である。

既往の現地調査の結果を見ると、適切に設計施工された上部構造のF2以下の竜巻による倒壊事例は稀である。したがって代替法は、F2相当以下の風速に対して有すべき構造躯体の水平耐力は耐震・耐風設計で確保されることを前提にして、主に外装材とその支持部材に着目した設計法として位置づけた。具体的には、竜巻の作用に対して弱い部位(例えば屋根と開口部)を対象にして、通常の耐風対策の延長上で耐風性に優れた構造方法を採用することによって計算による検証を要しないこととしている。特に構成部材間の接合部での耐力確保に配慮することがこの設計法の要点であり、該当すると考えられる構工法の例を以下に紹介する。

### i) 粘土瓦

「瓦屋根標準設計・施工ガイドライン」<sup>20)</sup>では、建築基準法に定める基準風速が大きい地域で対応できる仕様として、図18(b)に示す防災瓦を全数緊結することが例示されている。防災瓦は右下隅に突起形状を有するもので、当該重なり部分で隣合う瓦との間で荷重伝達経路が新たに形成され、引張力に抵抗する効果の向上が期待できる。図19に示す引き上げ試験(写真38)の結果<sup>21)</sup>によれば、防災瓦(全数緊結)は通常瓦(全数緊結)の4倍程度の引張耐力が出ており、防災瓦の採用が脱落・飛散(写真3)の可能性の軽減に有効であると考えられる。



(a) 通常瓦 (b) 防災瓦 写真38 瓦の引き上げ試験状況

図18 通常瓦と防災瓦の概要

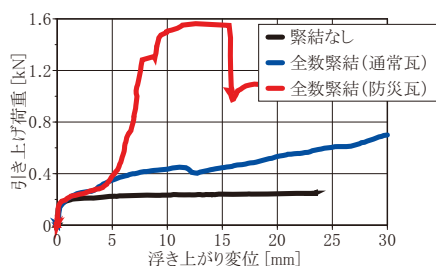


図 19 瓦の引き上げ試験結果の例<sup>21)</sup>

ii) 木造小屋組

一般に小屋組の構成部材間の接合ディテールは多様であるが、写真5~7のように飛散する可能性を軽減するためには、接合部の引張耐力を考慮した構法の選択が重要となる。例えば図20に示す小屋束接合部の引張試験結果<sup>22)</sup>によれば、長ほぞに割くさびを施した場合のほうがかすがいを両面打ちした場合よりも、耐力の平均値が1.4倍程度大きくなっている。

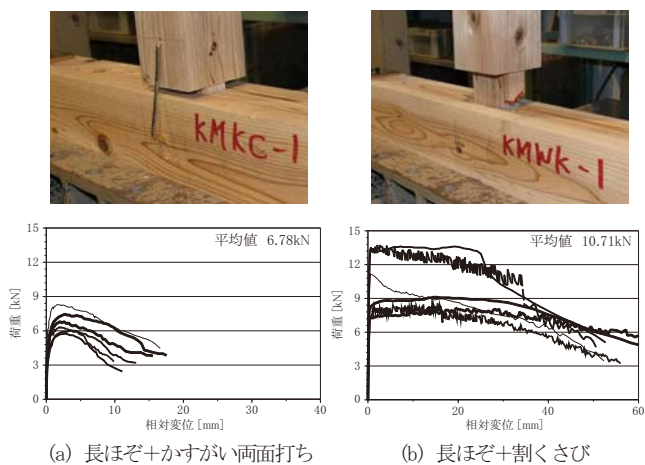


図 20 小屋束接合部の引張試験の例<sup>22)</sup>

4) その他の課題

対竜巻設計の整備に係る課題として、1)~3)項に掲げた以外に考えられる事項を以下にまとめる。

① 飛来物に対する耐衝撃性能の検討

図2(a)に示したように竜巻通過時には周囲から多数の飛来物が発生するため、開口部等が損壊することによって屋内に被害が及ぶほか、屋根に作用する力が大きくなる可能性もある。したがって、竜巻等突風による飛来物を対象にした耐衝撃性能に関する試験・評価法の整備が課題であり<sup>23)</sup>、これと並行して、耐衝撃性能を有する構法や仕様の事例を蓄積・整備することも設計上有用である。例えば下記の外装材については、過去の試験実績に基づいて耐衝撃性能に配慮した構法が提案されており、

対竜巻設計の際にも参考になると思われる。

i) ガラス<sup>24)</sup>

フロート板ガラスと比較して、合わせガラスが飛来物の衝突に対してより有効であること(写真39)。また、飛来物をガラスに衝突させないためには雨戸やシャッターの設置が有効であること



(a) フロート板ガラス (b) 合わせガラス

写真 39 ガラスの耐衝撃試験の例(京都大学防災研究所提供)

ii) 鋼板製外壁<sup>25)</sup>

鋼板の板厚を0.6mm以上、又は鋼板同士の重ね部を1山重ねとすることで、木質系部材の衝突に対してより有効であること(写真40)。



(a) 1山重ねなし (b) 1山重ねあり

写真 40 鋼板製外壁の耐衝撃試験の例<sup>25)</sup>

② 適切な危険回避行動に対応した設計要件の整備

例えば文献18)では、改良フジタスケールEF4~5の竜巻を設計対象とする場合には構造躯体の検証とともにストームシェルターの確保を提案している。このように規模や強さの大きい竜巻を想定するとき、荷重外力の作用が構造躯体の安全限界を上回る場合も考えられることから、人命保護の観点で適切な危険回避行動が取れることを目標にした設計要件の整備も求められる。

V おわりに

本稿では、近年の現地調査を通して把握した建築物等の竜巻被害の実態を概観するとともに、竜巻状気流発生装置を活用した実験的研究の概要、対竜巻設計の方向性と課題について述べ

た。竜巻は台風と比べて発生頻度が低い一方で、事前の予測が難しいこと、発生したときの影響範囲が局所的であることから、設計の考え方には通常の耐風設計と異なる発想が求められる。今後も本稿で述べた課題等に取り組み、建築物の対竜巻設計の整備に資する技術的な知見を蓄積していく予定である。

**謝辞** 本稿に掲げた研究成果の一部は、JSPS 科研費 21360273, 25289191 の助成を受けた。また図 15 の地図作成には白地図 KenMap Ver. 9.1 を活用させて頂いた。ここに謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 建築研究所：災害調査ホームページ  
<http://www.kenken.go.jp/japanese/contents/activities/other/other.html>
- 2) 気象庁：竜巻等の突風データベース  
<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/tornado/>
- 3) 国土技術政策総合研究所・建築研究所：平成 24 年(2012 年)5 月 6 日に茨城県つくば市で発生した建築物等の竜巻被害調査報告，建築研究資料，No.141，2013
- 4) 国土技術政策総合研究所・建築研究所：平成 25 年 9 月 2 日に発生した竜巻による埼玉県越谷市、北葛飾郡松伏町及び千葉県野田市での建築物等被害（速報），2013  
<http://www.kenken.go.jp/japanese/contents/topics/2013/130904.pdf>
- 5) 喜々津仁密，奥田泰雄，河井宏允，神田順：竜巻通過時に低層建築物に作用する風力特性に関する実験的研究，第 22 回風工学シンポジウム論文集，pp.209-214，2012
- 6) F.L.Haan, et al.：Design, construction and performance of a large tornado simulator for wind engineering applications, Engineering Structures, Vol.30, Issue 4, pp.1146-1159, 2008
- 7) 喜々津仁密，パーササーカー，フレッドハーン：竜巻状気流発生装置を活用した低層建築物に作用する風力特性に関する基礎的研究，第 21 回風工学シンポジウム論文集，pp.149-154, 2010
- 8) 佐々浩司：鉛直軸を持った渦の再現実験，京都大学防災研究所一般共同研究集会 18K-02，pp.20-23，2006
- 9) E. Simiu, et al.：Wind Effects on Structures, Third edition, John Wiley & Sons, Inc., pp.551-575, 1996
- 10) 田村幸雄ほか：竜巻等の実態および発生予測と対策，平成 19 年度科学技術振興調整費 重要政策課題への機動的対応の推進・研究成果報告書，2008
- 11) FEMA：Recovery Advisories from the Tornado Mitigation Assessment Teams for Alabama, Mississippi, Tennessee, Georgia, and Missouri, 2011  
<http://www.fema.gov/library/viewRecord.do?id=4723>
- 12) 竜巻等突風対策局長級会議：「竜巻等突風対策局長級会議」報告，2012  
<http://www.bousai.go.jp/fusuigai/tatsumakikyokucho/pdf/houkoku.pdf>
- 13) 内閣府中央防災会議：防災基本計画
- 14) International Code Council：Performance Code for Buildings and Facilities, 2012
- 15) U.S.Nuclear Regulatory Commission：Design-basis Tornado and Tornado Missiles for Nuclear Power Plants, Regulatory Guide 1.76, 2007
- 16) International Code Council：ICC/NSSA Standard on the Design and Construction of Storm Shelters, pp.7-15, 2008
- 17) 原子力安全基盤機構：原子力発電所の竜巻影響評価ガイド（案）及び解説，JNES-RE レポート，2013
- 18) D.O.Prevatt, et al.：Joplin, Missouri, Tornado of May 22, 2011, Structural Damage Survey and Case for Tornado - Resilient Building Code, ASCE, 2013
- 19) American Society of Civil Engineering：Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, ASCE7-10, 2010
- 20) (社)全日本瓦工事業連盟他：瓦屋根標準設計・施工ガイドライン，2001
- 21) 岡田恒，喜々津仁密：工法の実態調査及び引き上げ試験に基づく瓦屋根の耐風性能評価，日本建築学会構造系論文集，No.596, pp.9-16, 2005
- 22) 喜々津仁密，河合直人：構成部材の引張荷重試験に基づく木造小屋組の耐風性能評価に関する研究，日本建築学会構造系論文集，Vol.74, No.646, pp.2181-2188, 2009
- 23) 竜巻等突風対策局長級会議：「竜巻等突風対策局長級会議」報告，2013  
<http://www.bousai.go.jp/fusuigai/tatsumakikyokucho/pdf/h25-t/houkoku.pdf>
- 24) (一財)日本建築防災協会：安全・安心ガラス設計施工指針，2011
- 25) (一社)日本金属屋根協会，(一社)日本鋼構造協会：鋼板製屋根・外壁の設計・施工・保全の手引き，2014





**建築の省エネ性能評価と設計法の今後**  
—既存技術の向上と普及に向けた革新的技術開発の重要性—

環境研究グループ グループ長  
澤地 孝男

環境研究グループ 上席研究員  
桑沢 保夫

環境研究グループ 主任研究員  
三木 保弘

環境研究グループ 研究員  
宮田 征門

国土技術政策総合研究所 住宅研究部 主任研究官  
三浦 尚志



# 建築の省エネ性能評価と設計法の今後

## — 既存技術の向上と普及に向けた革新的技術開発の重要性 —

環境研究グループ	グループ長	澤地 孝男
同	上席研究員	桑沢 保夫
同	主任研究員	三木 保弘
同	研究員	宮田 征門
国土技術政策総合研究所	住宅研究部	主任研究官 三浦 尚志

### 目次

<b>I</b>	<b>はじめに</b>
<b>II</b>	<b>研究の背景・近年の動向</b>
	1) 地球温暖化対策のための国の目標設定
	2) 環境エネルギー技術革新計画の見直し(平成25年)
	3) 近年における国際的な目標設定及び展望
	4) 民生部門対策のための研究開発に必要なこと
<b>III</b>	<b>既存技術の向上と普及に向けた革新的技術開発</b>
	1) 既存技術の向上と普及(省エネ面における設計及び機器開発への支援)
	2) 革新的技術の実効性検証、評価法の確立、そして普及まで
	3) 住宅・非住宅建築物の新しい省エネルギー性能評価
	4) 評価法共有の重要性、その設計における応用
<b>IV</b>	<b>おわりに</b>
	謝辞、参考文献

### I はじめに

一般的な傾向として「技術開発」は、聞きなれない名前の技術、珍しい技術、原理のまだよくわかっていない技術を対象になされることのほうが多い。1970年代の石油危機、1980年代以降の地球温暖化問題に対処すべく、住宅やビルの省エネルギーという目的の達成のため、そうした研究開発への取り組みがなされてきたが、いよいよ状況の切迫した昨今において、目標達成の道筋を現実的に考えた結果として、普及の可能性があり、広く大きな省エネ効果が期待できるにも拘らず、最後のハードルを超えられないために効果が発揮できていない既存技術の向上と普及のための「技術開発」が注目されつつある。

### II 研究の背景・近年の動向

#### 1) 地球温暖化対策のための国の目標設定

地球温暖化対策の根幹である京都議定書(平成17年発効)の目標達成のため、政府は最初の京都議定書目標達成計画を平成17年4月に、その後改定案を平成20年3月に閣議決定した。表1は当時の目標値と、平成25年11月に発表された平成24年度の速報値及び京都議定書における日本の削減約束の達成見込みを示す。森林吸収量等を含めると目標達成は確実になったものの、民生部門(業務その他部門+家庭部門、表中太字表記)については結果が目標値を上回った。

表1 京都議定書目標達成計画(2008年3月)における2010年度の目標値と実際(結果)

排出量の単位はMtCO <sub>2</sub>	基準年	2005年度	2010年度の目標値(京都議定書目標達成計画,2008(平成20)年3月)	約束期間(2008-2012年度)の平均排出量の実際(結果)
エネルギー起源CO <sub>2</sub>	1,059	1,201	1,076~1,089	1,143
産業部門	482	452	424~428	416
業務その他部門	164	239	208~210	234
家庭部門	127	174	138~141	179
運輸部門	217	257	240~243	231
非エネルギー起源他	202	158	163	136
合計(①)	1,261	1,359	1,239~1,252	1,279
森林吸収量及び京都メカニズムクレジット(②)				122
結果(①-②)【基準年からの削減率(%)】 ※右欄のように②を算入することにより削減約束を達成。				1,157 【-8.2%】<削減約束-6%

(注)平成20年3月28日閣議決定「京都議定書目標達成計画(環境省)」及び「2012年度(平成24年度)の温室効果ガス排出量(速報値)について」平成25年11月19日に基づき作成。

京都議定書と並行し、平成19年5月に当時の安倍総理は「世界全体の排出量を現状に比して2050年までに半減(クール・アース構想)を、平成20年に福田総理は「2050年までの長期目標として現状(2008年)から60~80%の削減」を掲げた。また平成21年、鳩山総理は「すべての主要国による、公平かつ実効性のある国際枠組みの構築」を前提に「1990年比で言えば2020年までに25%削減」を掲げた。これらの中長期目標は平成23年3月の東日本大震災と原子力発電所事故により見直しを余儀なくされたものの、平成25年11月、第2次安倍内閣は「2050年までの世界全体の温室効果ガスの排出量半減、先進国全体で80%削減を目指すという目標を達成することを改めて掲げる」とした(「美しい星への行動」攻めの地球温暖化外交戦略<sup>1)</sup>)。この新たな戦略では、並行して見直された総合科学技術会議の「環境エネルギー技術革新計画」<sup>2)</sup>を重視し、計画の着実な実行が必要であるとされている。また、同計画ではIEAのETP2010及びETP2012<sup>3)</sup>が参考にされている。なお、2020年までの当面の温暖化効果ガス削減目標としては、原子力発電による効果を含めずに2005年度比で3.8%削減としている<sup>4)</sup>。

## 2) 環境エネルギー技術革新計画の見直し(平成25年)

上記の環境エネルギー技術革新計画(平成25年改訂案)では37種類の「革新的技術」が着目され、削減効果の大小、市場規模、官民の役割分担、技術の成熟段階に関して評価が行われている。37種類のうち、民生部門すなわち住宅及び非住宅建築物に係る8種類の環境エネルギー技術を抜粋し表2に示す。

住宅及び非住宅建築物に関しては、改訂前の技術革新計画(平成20年)においては「省エネ住宅(断熱材・断熱ガラス)」と表記、「民主導」かつ「市場に委ねる」とされ、また削減効果(2030年)については「3億トン未満」と少なく評価されていたが、改訂後は「省エネ住宅・ビル」と「ビル」が加えられるとともに「断熱材、断熱ガラス」といった外皮に対策を限定するような記述は削除され、役割分担は「民主導~官民共同」に、削減効果(2050年)は「10億トン以上」と変更されている。平成24年以降における住宅・ビル分野の省エネルギー基準の一次エネルギー消費量評価への以降が反映された結果と推測される。

表2 環境エネルギー技術の評価(民生部門関連のみを抜粋)<sup>2)</sup>

大分類	小分類	削減効果	市場規模	役割分担	成熟段階
生産供給	4. 太陽光発電	◎	◎	民~官	基~普及
	5. 太陽熱利用	◎	◎	民~官民	基~普及
消費需要	18. 革新的デバイス(照明含む)	◎	◎	民~官	応用~普及
	22. エネルギーマネージメントシステム	◎	◎	官民	応用~普及
	23. 省エネ住宅・ビル	◎	◎	民~官民	応用~普及
	25. 高効率ヒートポンプ	○	◎	民	応用~普及
需給統合	30. 燃料電池	○	○	官民	実証~普及
	31. 高性能電力貯蔵	-	○	民~官民	応用~普及
	32. 蓄熱・断熱等技術	△	○	民	応用~普及

(注)削減効果:◎は2050年における世界の温室効果ガス削減効果10億トン以上、○は3~10億トン、△は3億トン未満。市場規模は:◎は3兆円以上、○は0.3~3兆円、△は0.3兆円未満。役割分担:「民~官」は民主導~官主導、「民~官民」は民主導~官民共同、「官民」は官民共同、「民」が民主導の意。成熟段階:「基~普及」は基礎研究~普及性能向上、「応用~普及」は応用研究~普及性能向上、「実証~普及」は開発実証~普及性能向上の意。

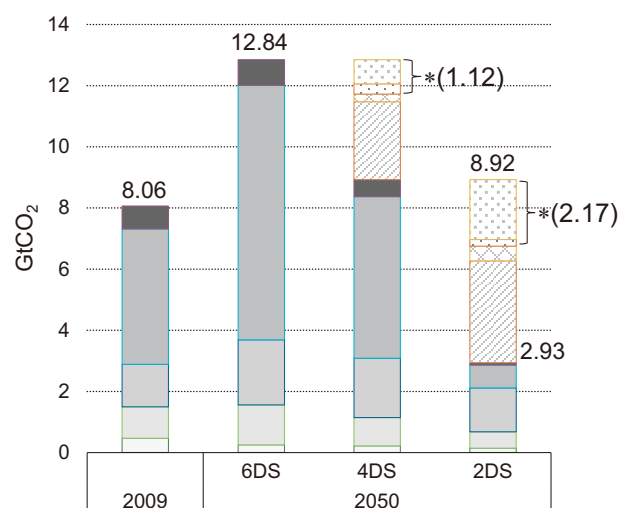
さらに、この計画の特徴は「革新的技術」を、既存技術を含めて整理し直し、「既存技術の向上と普及が重要である」と極めて現実的なロードマップを描いた点にあると言える。真新しい技術のみが革新なのではなく、既存技術で有望なものこそ普及に向けた技術革新を加えることが地球温暖化対策のために日本が為すべきことであるとしている。

## 3) 近年における国際的な目標設定及び展望

2005年のG8 グレンイーグル・サミットにおいて、IEA(国際エネルギー機関)は有望な温暖化対策を特定するようにG8から依頼を受け、それ以降数々のロードマップを作成し、2007年のハイリゲンダム・サミット及び2008年の洞爺湖・サミットにて成果を報告した。クール・アース構想の表明直後に開催されたG8ハイリゲンダム・サミット(平成19年6月)においては、2050年までに世界全体の温室効果ガス排出量を少なくとも半減する

という長期目標の検討が表明され、翌年開催された G8 洞爺湖サミットではその長期目標が確認された。

我が国の目標設定「2050年までの世界全体の温室効果ガスの排出量半減、先進国全体で80%削減を目指す」はこのようなG8及びIEAによって設定された目標に調和したものとなっている。



CO<sub>2</sub> 排出の削減対策

- エネルギー効率向上
- 電力需要の削減
- 燃料の転換
- 電力の脱炭素化

} \*

CO<sub>2</sub> 排出

- 地域供給熱
- 電力
- 天然ガス
- 石油
- 石炭

図1 IEAのエネルギー技術展望2012における建築部門の全世界のエネルギー起源二酸化炭素排出量の削減シナリオ(2050年)。6DSは既に採られている対策のみを実施した場合の2050年の排出量推定値であるが、これに専ら建築側の工夫である「エネルギー効率向上」及び「電力需要の削減」(図中の\*印)による削減3.29Gtと「燃料の転換」及び「電力の脱炭素化」による削減6.62Gtを実現することによって2DS(2050年における温暖化を2°Cに抑えるシナリオ)を実現することができると思われる。

IEAは隔年で「エネルギー技術展望」(Energy Technology

Perspectives, 略してETP)を刊行しているが、ETP2012においては2009年をベースとして2050年における3つのシナリオ、すなわち2°C、4°C、6°Cの温暖化を抑えるための温暖化効果ガスの抑制シナリオが論じられている。目標にすべきとされている2°Cに温暖化を抑えるシナリオ(2DS)の達成には、以下の3分野の対策が必要不可欠とされている。

- 高度に統合された分散型スマートエネルギーシステム
- 電源の転換(Transforming)と低炭素化
- エネルギー効率の劇的な改善

2DSのため、建築部門(Buildings Sector)に関しては全世界で2009年において80億6千万トンであったエネルギー起源の二酸化炭素排出量(全分野の26%に相当)を、2050年には29億3千万トンに削減することが必要とされている(図1)。削減方策は、主として「エネルギー効率の向上」「電力需要の削減」及び「燃料の転換」「電力の脱炭素化」から成るが、後者は原子力発電、太陽電池等の普及によるエネルギー供給側の対策である。エネルギー消費側の省エネ対策である前者による削減目標は、32億9千万トンであり、現状(2009年)の排出量及び2050年の推定値(6DS)の各々約40%と約25%に相当する。

日本のようなOECD加盟のいわゆる先進国の建築部門が今後2050年に向けてどの程度の省エネルギーを実現する必要があるのかに関する明確な数値は他に見当たらない。そこで、それらの数字を足掛かりとするならば、太陽光発電と電力の二酸化炭素排出係数の低減を除外して現状の25(全世界で均等に削減を行うと想定した場合)~40%(専らOECD先進諸国において削減を行うと想定した場合)に相当するエネルギー消費の削減が必要、ということになる。

我が国の2050年における削減目標である80%は、6DSから2DSへの削減幅(77%)にほぼ近く、建築部門にも同じパーセンテージを想定するとすれば、省エネ対策によって凡そ27%の削減(▲80%×(1.12+2.17)÷(12.84-2.93))を、エネルギー供給側の対策によって53%の削減(▲80%×(12.84-2.93-1.12-2.17)÷(12.84-2.93))を実現すればよいことになる(2009年との比較で)。つまり、太陽電池を含むエネルギー供給側の工夫を別にして、需要側の建築外皮・設備・機器の工夫によって3割弱(27%)の省エネルギーの達成が2050年までに求められる、と解釈することができる。ただし、その割合は各々、新築、既築と合わせた数字である。

ところで、全世界の人口は、2009年に70億人弱であったが

2050年には約1.3倍の90億人強となるものと予想され、その間に収入はOECD諸国が約2倍弱に伸びるのに対して、ブラジルは3倍強、そして中国とインドは約7倍、その他の非OECD諸国が約2.5倍に伸びると予想されている(表3)。こうした人口及び経済力の変化は、家庭・住宅部門のエネルギー消費を押し上げる圧力となる。一方、業務用ビルの床面積の推定としては、2050年にインドが4.1倍、中国・インド・ブラジル以外の非OECD諸国が2.3倍になるのが目立つ。2DSの下では、このような人口増加、生活水準の向上、産業活動の活発化に抗して建築部門のエネルギー起源二酸化炭素排出量の削減が求められる。

表3 全世界の人口・収入・ビル床面積の変化予想(IEAの技術展望2012)

単位: 人口は億人 世帯数は億世帯 床面積は百万㎡	OECD諸国			非OECD諸国			
	北米	アジア オセアニア	ヨーロッパ	中国	インド	ブラジル	その他
人口(2009)	4.66	2.03	5.49	13.38	11.55	1.94	28.56
人口(2050)	6.11	1.93	5.88	13.06	16.92	2.23	46.94
2050/2009比	1.3倍	1.0倍	1.1倍	1.0倍	1.5倍	1.1倍	1.6倍
世帯数(2009)	1.57	0.79	2.30	3.85	2.49	0.50	7.02
世帯数(2050)	2.16	0.79	2.81	4.60	5.00	0.93	14.69
2050/2009比	1.4倍	1.0倍	1.2倍	1.2倍	2.0倍	1.9倍	2.1倍
1人当たり年 収[\$] 2009年	37104	32079	28956	7060	3184	10431	5587
1人当たり年 収[\$] 2050年	72817	63174	57281	48782	22294	35986	14328
2050/2009比	2.0倍	2.0倍	2.0倍	6.9倍	7.0倍	3.4倍	2.6倍
業務ビル床面積 (2009)	8928	2875	7804	9997	858	371	4390
業務ビル床面積 (2015)	9878	3127	8351	11397	1155	412	5055
業務ビル床面積 (2030)	12675	3816	9927	15750	1994	475	7105
業務ビル床面積 (2050)	14499	4451	10826	16365	3525	581	10256
2050/2009比	1.6倍	1.5倍	1.4倍	1.6倍	4.1倍	1.6倍	2.3倍

#### 4) 民生部門対策のための研究開発に必要なこと

IEAはまた、建築分野における2DS達成に向けた計画を2013年に刊行し、各国に求められる行動を表4のようにまとめている<sup>5)</sup>。要改善分野の第一に省エネルギー基準の整備が挙げられ、次いで住宅を対象とした省エネルギー改修の実施、暖冷房換気・照明設備の技術開発と普及などが重要視されている。一方、IEAにおいて国際共同研究を実施することで研究開発を担っているエネルギー研究技術委員会(Committee on Energy Research and Technology, CERT)傘下で建築の省エネルギー関連の研究開発を実施している建築とコミュニティーのエネルギー・プロ

グラム(Energy in Buildings and Communities Programme, EBC)は、2014年から2019年までの研究計画において表5に示す5項目を優先度の高い研究テーマとして掲げている<sup>6)</sup>。研究計画全体を通じ「設計手法の確立」「建築設備・部材に関する透明性のある技術情報」「建物実使用条件の考慮」「実際のエネルギー消費量に関する知見の収集」「電力需要ピーク対策」「省エネ

表4 2DSの達成のために必要な建築分野における行動(IEA, Transition to Sustainable Buildings, 2013)

改善が求められる分野	当面の推奨事項
すべての国で全新建物に対して建築法規(省エネルギー基準)が施行されること。	寒冷地域における新建物の省エネルギー基準が継続的に強化されること。暑熱地域において、冷房負荷が3分の1程度に低減されること。
ヨーロッパ及びユーラシアのすべての国で住宅の大規模な省エネルギー改修が行われること。	高レベルな省エネルギー改修技術及び事業を市場で競争力を得るためのR&D
高効率の暖冷房換気システムに関するR&Dとそれらの普及	暖冷房設備のためのより高度な基準
照明効率向上のためのR&Dと基準化がなされること。	照明効率の向上のための法規が施行されること。
設備機器の効率向上が促進され規制がなされること。	機器と暖冷房設備の基準が、ライフサイクルで最小コストレベルのものに急速にシフトすること。
低炭素又はゼロカーボン技術が後半に普及すること。	さらにコスト効率の高い応用事例に関するケーススタディーとR&D
分野横断的な政策と技術	廃熱及び再生エネルギーと組み合わせられた蓄熱システムを活用した現代的な地域暖房により、システム効率と自由度の増加がもたらされること。

表5 IEAのEBC(Energy in Buildings and Communities) Programmeの2014-2019研究計画における5つの優先課題

優先研究課題	内容
1. 統合化された建築設計	<ul style="list-style-type: none"> <li>・外皮と設備の組み合わせの最適化</li> <li>・建築設備・部材に関する透明性があり信頼できる技術情報が設計者に提供されること</li> <li>・設計プロセスの確立</li> <li>・新技術開発においても実用性の重視が重要であり、新技術を適材適所で活用するための設計手法が合わせて開発される必要がある</li> <li>・省エネ改修手法はコスト効率が高く、普及可能性の大きいことが重要</li> <li>・運用時の省エネが進むにしたがって重要性を増す建設時等のCO<sub>2</sub>排出量低減のための科学的知見が重要</li> </ul>
2. 建築設備	<ul style="list-style-type: none"> <li>・設計手法の確立、機器エネルギー効率向上、制御手法、初期調整</li> <li>・設計手法の標準化、機器規格の改善のための科学的根拠</li> <li>・電力需要ピーク対策、太陽光発電及びコージェネレーションの活用、建物とコミュニティーエネルギーシステムとの連携</li> </ul>
3. 建築外皮	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高性能断熱材及び窓の開発、気象条件及び建物使用条件に適合した外皮設計手法、外皮の気密化技術、自然換気技術、昼光利用技術、複合機能を持つ先進的外皮技術</li> <li>・外皮の省エネルギー改修技術</li> </ul>
4. コミュニティー規模の技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>・コミュニティースケールの先進的エネルギーシステムの省エネルギー性能の検証</li> <li>・低炭素熱源、再生エネルギー源の活用、自治体への知見の普及及び意思決定への支援</li> </ul>
5. 実際のエネルギー消費量	<ul style="list-style-type: none"> <li>・建物使用条件を考慮した外皮及び設備の最適化</li> <li>・建物使用条件に関する知見の収集、実際のエネルギー消費量に関する知見の収集</li> </ul>

改修手法」といった点が着目されるとともに、未知の技術の開拓というよりも既存技術を活用普及してゆく際の現実的な課題の克服に軸足が置かれ始めていると言える。

### III 既存技術の向上と普及に向けた革新的技術開発

#### 1) 既存技術の向上と普及（省エネ面における設計及び機器開発への支援）

前章Ⅱではここ2、3年における国内外での温暖化対策周辺の科学的知見や政策的判断について振り返ったが、国内外ともにそれ以前とは明らかに異なる傾向を読み取ることができる。すなわち、未知の、あるいは普及の途についていない新しい技術のみに依存するのではなく、建築物のエネルギー効率向上及びエネルギー需要の削減のための方法として、既存技術の大規模な普及のための技術開発に焦点を当てた極めて現実的な道を大きく取り上げている点である。そうした立場は自立循環型住宅技術及び設計ガイドラインの開発研究以来、建築研究所が採ってきた立場でもある。研究成果は既に、設計手法の提案とともに平成25年省エネルギー基準のための一次エネルギー消費量算定評価法及びプログラムに反映されているが、次節2)においては、既存技術が普及して省エネルギーのために実効性を発揮し得るためには多くの課題が存在していることを4つの事例（自然冷媒ヒートポンプ式電気給湯機、住宅における照明設備の省エネルギー設計法、ルームエアコン、ビル中央式空調の搬送動力低減手法）によって例証する。

#### 2) 革新的技術の実効性検証、評価法の確立、そして普及まで

##### i. 事例1（自然冷媒ヒートポンプ式電気給湯機）

住宅用の給湯器として普及している自然冷媒ヒートポンプ式電気給湯機（いわゆるエコキュート）は2001年に世界で初めて発売された。それまでの電気ヒーターによる給湯器（電気温水器）に比べると高効率に湯を作れることなどから、急速に普及し、2013年10月には400万台を超える累積出荷台数となった。

建築研究所では国土技術政策総合研究所、東京大学などと連携し、省エネルギー住宅に関する研究の一環として各種の給湯機に関する実働時の効率を実験や実測により測定し、自然冷媒ヒートポンプ式電気給湯機についても実機による測定を行った。しかしその過程においては、自然冷媒ヒートポンプ式電気給湯機（図1）は、いわゆる貯湯式と呼ばれる給湯器で、瞬間式のように温水需要に応じてその場で湯を作ることができないため、あらかじめ家庭の過去の給湯使用量などから必要湯量を推測し、

湯を沸かす時刻や、量、沸き上げ温度などを決める制御が組み込まれており、その正確な実働性能を把握することは困難を極めた<sup>7)</sup>。

それでも、測定結果から自然冷媒ヒートポンプ式電気給湯機の実働効率に影響を与えているいくつかの重要な要因がわかってきた。一つは、貯湯温度である。レジオネラ菌対策のため60℃以上となるように沸き上げているが、時により高温で沸き上げることがあり、タンクからの放熱ロスが大きくなるとともに湯沸かしのエネルギー効率が低下する。ヒートポンプの実働効率は外気温と、取り出される温度（湯温）の差が小さいほど効率が高いので、沸き上げ温度を高いと効率は低下してしまう。この様に、沸き上げ温度の上昇は、放熱ロスの増大とヒートポンプ効率の低下でシステム全体の効率を大きく低下させてしまう。

湯を沸かす時間帯の制御も大きな要因である。発売当初からしばらくは電気温水器と同じ様に深夜電力のみを使って湯を沸かすモードが搭載されていたが、このモードを利用すると安価な深夜電力のみを利用するため電気料金は低下する一方で、昼間湯沸かしを避けるため多めに湯沸かしし（必然的に沸き上げ温度も高くなる）、給湯需要が生じる時間帯までタンクに貯めておかなければならないことから放熱ロスを大きくしてしまう

（図2の「最大沸上」）。このように制御によって放熱ロスとヒートポンプ効率に悪影響を与えてシステム全体の効率を大きく低下させてしまうため、最近の機種では深夜電力のみを使って湯を沸かすモードは姿を消している。

さらには、風呂の追い焚きも効率を下げる要因の一つで、実働効率には考慮する必要があることがわかった。

こうして得られた知見は「自立循環型住宅への設計ガイドライン」においてその一次エネルギー消費量の評価方法に活かされ、それは改正省エネ法やCASBEEなどにおける評価の根拠ともなった。また、同製品のためのJIS C 9220 家庭用ヒートポンプ給湯機の開発に際しても知見は活かされ、より実働性能に近い値がJIS効率として表示されるようになった。評価尺度が明らかになったことからメーカーもこれに合わせた開発を進め、自然冷媒ヒートポンプ式電気給湯機の実働性能は向上し、同機のポテンシャルの発揮に大きく貢献したといえる。

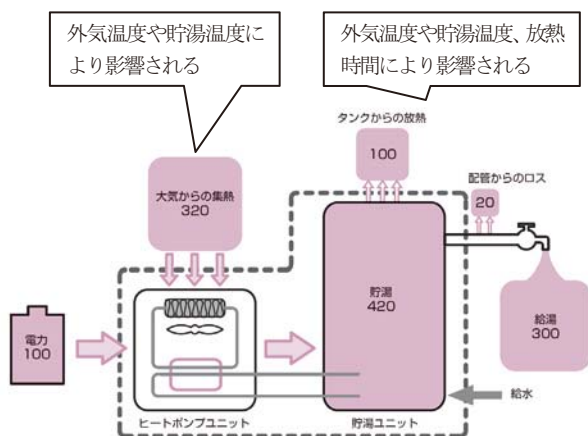


図1 自然冷媒ヒートポンプ式電気給湯機のしくみ<sup>1)2)</sup>

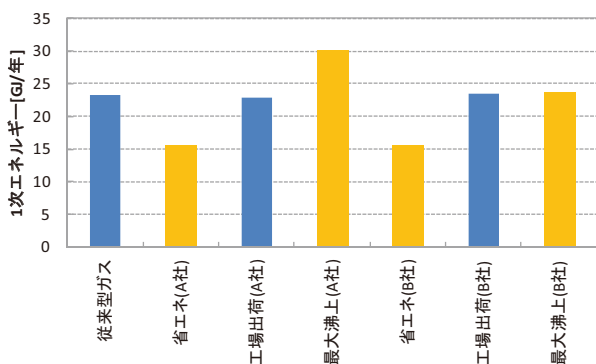


図2 一次エネルギー消費量のモードによる違い (2005年頃の製品を対象とした実験結果に基づく)<sup>1)2)</sup>

当時の工場出荷モードではいずれも従来型ガス給湯器とあまり変わらなかった。省エネモードにおいては従来型ガス給湯器よりもエネルギー消費量は少ないが、従来型ガス給湯器よりも増えてしまうモード(最大沸上)もあった。(A社は2005年製、B社は2006年製)

## ii. 事例2 (住宅における照明設備の省エネルギー設計法)

空調で設定温度がエネルギー消費の多寡に影響があるのと同様に、照明においても、明るさ設定は重要である。住宅の明るさ設定には、JIS Z9110(2010) 照明規準総則で規定された、生活行為に応じた水平面照度(ルクス)が参照されることが多いが、同じ室でも生活行為に応じて必要とされる明るさは異なり、また、居住者の選択に対応できるように必要な明るさの幅が非常に広く設定されている。しかし、これまで、そのような明るさ設定に対応して細かく設計できる住宅用の一般的な方法はなく、ほとんどの生活行為に不満がない明るさ(100ルクス程度の平均床面照度)が得られる、室の広さに応じたカタログによる天井中央に設置する一つの照明器具の選択(適用量数表示

基準)による、非常に簡易な方法しかなかった。この従来の方法では明るさは正確に決めることができず、しかも天井・壁・床の反射率を考慮しない安全側の設定となり、たとえLED等の高効率の照明器具を選んだとしても、明るさは過剰になりやすく、対応する照明によるエネルギー消費量も過剰になりやすい(図3)。

そこで、建築研究所では、住宅室内の広さだけでなく、天井・壁・床の反射率も考慮し、設計したい明るさが得られる適切なランプの光束(光の量)を簡易に算定する方法(単位光束法)を開発した(図4)<sup>8)</sup>。単位光束法は、室の広さと反射率を考慮して、単位となる水平面照度50ルクスが得られるランプの光束(ルーメン)の表を用いた設計法であり、表の値を2倍、4倍とすることで、100ルクス、200ルクス等の必要な明るさに応じた設計を容易にする。住宅の室用途に応じた配光の異なる3種類の表が用意されている(表6)。

この単位光束法により、室の性状を考慮した明るさ設定を実現するために必要な光束が得られ、光束を住宅の標準的な機器の効率に相当するランプ効率、例えば70(lm/W)で割ると、省エネルギー評価の目安となる消費電力(ワット)が求められる。この標準的な光束と消費電力の設定は、平成25年省エネ基準の各室の標準的な光束と消費電力の算定に反映されている。

ただし、実際の蛍光ランプシーリングライトなどの照明器具は、ランプ光束が一定でも、器具の形状や材質が異なり、最終的な器具として放出する光束(器具光束)が異なる。ランプ光束と器具光束の比(器具効率)に関しては住宅の照明設計のための情報がほとんど存在しないため、複数の実器具の計測を行ったところ、器具効率は45%~65%とばらつきがあることがわかった。単位光束法では、シミュレーションによりランプ光束の値を設定し、器具効率は一定値を仮定していることなどから、算定結果と実測の比較検証が必要であると考えられた。そこで、8畳の室広さ、100ルクス相当のシーリングライトの場合に必要なランプ光束(天井・壁・床の反射率組み合わせ3種類の)を単位光束表から求めた値と、実験室内に設けた8畳大の空間に実際のシーリングライト器具で、器具効率が単位光束法の設定とほぼ同程度のものを設置し、100ルクスとなる時のランプ光束の値を計測した(ただし、反射率は各面とも45%で固定)。単位光束法及び実測結果に基づく必要光束を比較した結果を図3に示す。実験室の反射率構成は、空間設定の制約で天井・壁・床が均一の反射率の設定となっているが、平均反射率がほぼ同一の場合およそ比較は可能と考えられる。平均反射率45%



程度での単位光束法と実測のランプ光束の比較から、実測結果においてはランプ光束値が単位光束法による値よりも若干小さいことがわかる。

以上のように、単位光束法によって、明るさ設定と室性状を考慮することができるようになり、住宅照明の省エネのための標準的光量算定は一步前進したと言えるが、実際の器具効率の値のばらつきも考慮すると、更なる適正化の余地が残されている。新しいLED器具では、ランプと器具が分離できない一体の機器が主流となってきていることも考慮すると、今後、従来の器具と一体型器具の両者を含めて適切に評価・設計できるようにする方法が必要である。

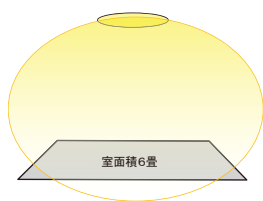


図3 適用量数表示基準による設計：広さだけによる照明設計は過剰な明るさと過剰な照明エネルギーになりやすい

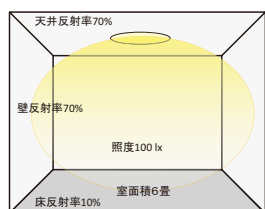


図4 単位光束法による設計：広さと反射率を考慮し明るさに応じた設計で、適切な明るさと適切な照明エネルギーとなる

表6 単位光束表（拡散配光器具の場合の表）

面積 (畳)	2	4.5	6	8	10	12.5
開口 (m) × 奥行 (m)	1.82 × 1.82	2.73 × 2.73	2.73 × 3.64	3.64 × 3.64	3.64 × 4.55	4.55 × 4.55
単位光束 (lm)	室内反射率 (%) 70, 30, 10	2050	2750	3150	4100	4650
	室内反射率 (%) 70, 50, 10	1600	2300	2700	3200	4200
	室内反射率 (%) 70, 70, 10	1150	1850	2200	2700	3700

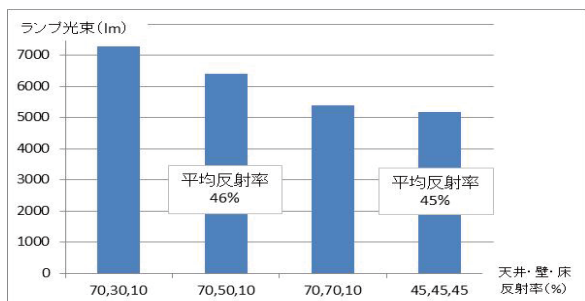


図5 単位光束法の実光源による検証例（100ルクスが得られる8畳用シーリング実器具との比較）

### iii. 事例3（ルームエアコン）

ルームエアコンの各製品の省エネ性能は、通年エネルギー消費効率（APF：Annual Performance Factor）という指標で表示されている。これは、エアコンの容量を表す定格能力における効率と定格能力の半分の間能力における効率とを、JIS C9612 で定められた計算式に則って算出された値であり、効率の試験方法も JIS B8615-1 によって定められている。この JIS B8615-1 により計測された定格能力時の効率を COP と言い、効率が APF で表記される以前はこの値が用いられていた。

一方で、ルームエアコンの効率は図6に示すように、外気温度や運転状況（能力）に大きく依存することが特徴であり、カタログ上の効率と実働時の効率は一致しない。これは、自動車の燃費と似ている。良く知られるように、自動車の燃費はカタログ上の値と実際では大きく異なり、それも渋滞の一般道を走っている場合と高速道路を走っている場合など運転状況に大きく依存する。エアコンの実際の効率を我々は実働性能と呼んでいる。JIS等で示される効率は、自動車で言うところのカタログ上の燃費に近く、各社のエアコン効率を比較する場合では非常に良い指標と言える一方で、例えばエアコンとガスFF暖房機など、異なる暖房方式の機器の省エネ性能を比較する際には、運転・試験条件等の与条件が各JISによって異なるため、JIS等で示される効率同士を比較することは意味をなさない。

そこで、建築研究所では、エアコンも含めた全ての暖冷房設備・機器について、様々な運転条件下における実働性能を把握し、シミュレーション等を用いて各機器を同条件で比較することに取り組んできた。

2005年頃から、エアコンの実働性能を把握することを目的として、居住者のエアコンの使い方や内部発熱等を模擬した集合住宅棟（図7）を建設し、エアコンの実働性能の計測を実施してきた。この実験は、居住者の機器の使い方をロボットにより再現できるのが特徴で、全く同条件で異なる機器の省エネ性能を実測し比較できるのが特徴である。さらに、集合住宅よりも暖房負荷が大きい状況の実働性能も把握するために、研究所敷地内に新たに戸建て住宅実験棟（図7）を建設し、エアコンの実働性能の計測を実施した。これら一連の検証成果は、現在、住宅における省エネルギー基準の評価方法に活かされている。

省エネルギー基準においては、エアコンの性能は設計一次エネルギー消費量（GJ/年）という指標で表わされる。これは、ある使い方をした時の年間のエネルギー消費量であり、一種のベンチマークであるといえる。ベンチマークであるという点では、

JIS で定められている通年エネルギー消費効率 (APF) と似ているが、住宅の建設地の気候の影響 (一般にエアコン等のヒートポンプ機器は外気温度が寒いと効率が低下し、外気温度が高いと効率が上昇する)、住戸の断熱水準など暖房負荷の多寡が効率に与える影響等を評価でき、さらに暖房方式の異なる設備・機器を同条件で比較できることが大きな特徴である (図8)。

現在、当研究所では、現行の JIS では考慮されていない断続運転を繰り返す低負荷領域における効率の評価や、冷房時の除湿性能の評価にも取り組んでいる。APF のように単一のわかりやすい指標はエアコン同士の効率を比較し、各社メーカーの技術開発を促すための指標という側面がある一方で、設計者や使用者にとっては、建設地の気候や使い方に応じて、エアコンの省エネ性能の良し悪しを評価すること、暖房方式の異なる設備・機器を一律に比較することがより重要である。今後は APF のような効率表記よりも、省エネ法で示される年間設計一次エネルギー消費量のような指標が、使用者側にとっては重要な指標になってくるとと思われる。

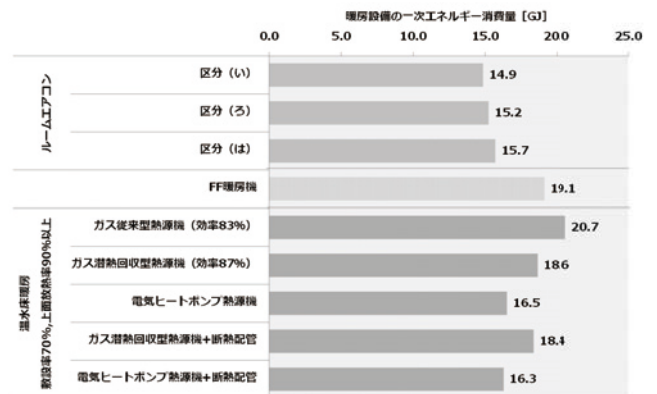


図8 省エネ基準における暖房設備の設計一次エネルギー消費量の計算例

※計算に用いた地域区分は6地域。一次エネルギー消費量は「主たる居室 29.81 m<sup>2</sup>」と「その他居室 51.43 m<sup>2</sup>」の合計。軸ラベルは「主たる居室」の暖房設備を表示。「その他の居室」の暖房設備は全てルームエアコン。

#### iv. 事例4 (中央式空調の搬送動力低減手法)

熱源機器が生成した冷温熱を空調対象室に搬送する「搬送系 (空気搬送系、水搬送系)」と呼ばれるシステム (図9) のエネルギー消費量は、何もエネルギー削減の工夫をしていないオフィスビルの場合、空調システム全体のエネルギー消費量の大半を占めることもあり得、その削減は重要な課題である。

搬送系動力低減手法の1つとして、負荷に応じて風(流)量を自動的に調整する「変風(流)量制御」があり、近年の建物のIT化とインバータの低価格化に伴い導入が徐々に増えつつある。しかし、実際のシステムにおいて導入効果を検証すると、必ずしも設計意図通りに動いておらず、期待された動力低減効果が得られていない場合も多い。図10は、国土交通省による平成23、24年度建築基準整備促進事業の調査項目36「空調システム等の最適制御による省エネルギー効果に関する実証的評価」による共同研究において、実際の建物に導入された空気搬送システムの冷房運転時の性能測定を行った結果である。Aビル (図10左)、Bビル (図10右) とともに変風量制御が導入されているが、Aビルのように省エネ効果が得られているシステムもある一方で、Bビルのように省エネ効果が得られていないシステムも少なからず存在した。室内への供給熱量を制御するためには、「給気風量」だけではなく「給気温度」も制御する必要があるが、Bビルでは低負荷時に風量を絞るのではなく給気温度を上げることが優先されてしまっており、搬送動力低減効果がほと

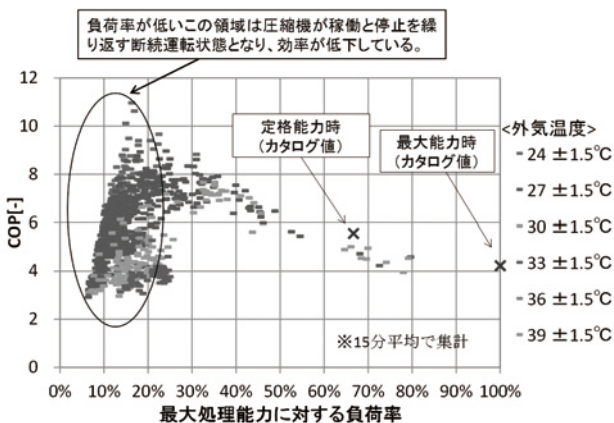


図6 負荷率と外気温度に対する効率の計測結果例 (冷房時) (実験概要や計測条件等については文献9) を参照されたい。

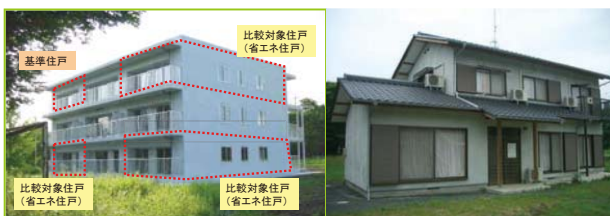


図7 建築研究所に建つ実働効率試験のための実験住戸 (左: 集合住宅、右: 戸建て住宅)

んど得られていない。

真に省エネ効果のある制御の普及のためには、省エネルギー基準などの設計時の評価において、例のように効果があるシステムとないものを差別化、識別できることが肝要である。しかし、現在の非住宅建築物の省エネルギー基準では、各種制御の導入効果を十分に差別化して評価するまでには到っていない。その主な理由は次のようなものと考えられる。

- ・ 非住宅建築物の中央式空調システム、特にその制御システムは、建物ごとに求められる機能が異なるため一品生産品であり、いわゆる「製品」としての定義（規格）にあいまいな点がある。例えば、「変風量制御」とはどのような機器で構成され、それらをどのように制御するシステムかという規格が存在しない。そのため、省エネルギー基準で厳密に扱うことが困難である。
- ・ 実態として、制御等の特徴によりどの程度の省エネルギー効果を発揮しているのかについて、客観的な論証が不足している。省エネルギー基準は学術的に確かで公平なものさしであるべきであり、効果が不明瞭である技術については、評価の土俵に乗せるべきではない。現時点の省エネルギー基準ではこれまでの慣例で、例えば変風量制御など、その定義や効果が十分に明確ではない技術についても省エネルギー技術の1つとして評価に組み込んでいるが、本来は十分な実態分析を行って確実に効果がでると確認できた技術のみを評価対象とすべきである。

- ・ 省エネルギー基準で届出が義務付けられている「省エネルギー計画書」は、設計図書を基に作成するものであるが、非住宅建築物については、設計図書には機器の具体的な型番や制御ロジックに関する詳細な情報は記されず、これらは施工時に決定されることが多い。また、制御の細かな設定値については試運転調整時に決定されることが多く、また運用段階に入ってから、例えば居住者からの要望等に依じて変更されることもある。したがって、上述のAビル、Bビルの効果の差は、設計だけではなく施工や運用段階の作業に起因している可能性もあり、設計図書だけではこれらを差別化することは困難である。

ここでは中央式空調の搬送動力の評価を例に論じたが、これは一品生産である非住宅建築物の設備システム全体としての共通の課題であると考えられる。このように、非住宅建築物の省エネルギー基準については根本的な課題があり、これを解消するためには、まずは各省エネルギー技術の定義を明確にするためにも「規格」類を整備すること、定義された各技術について実態としての効果がどの程度あるのかを実建物で検証すること、そしてその制御が真に効果を発揮するためには設計時点でどのようなことに留意しなければいけないかを明確にすることを、改めてすべての技術について履行する必要があると言える。

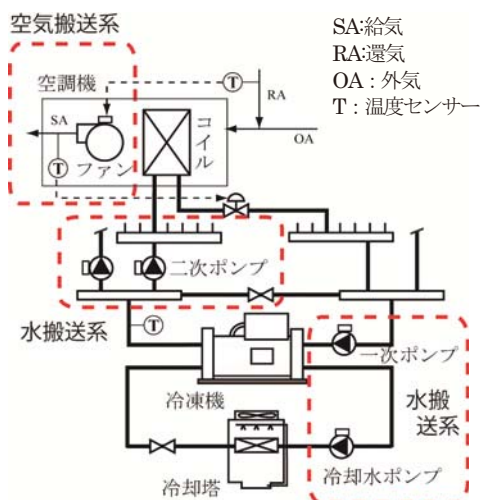


図9 中央式空調の搬送システム

空調機への還気温度によってファンの回転数を下げて動力エネルギー低減を意図している。加えて空調機コイルへの冷温水流量をバルブ開度の制御によって調節する。

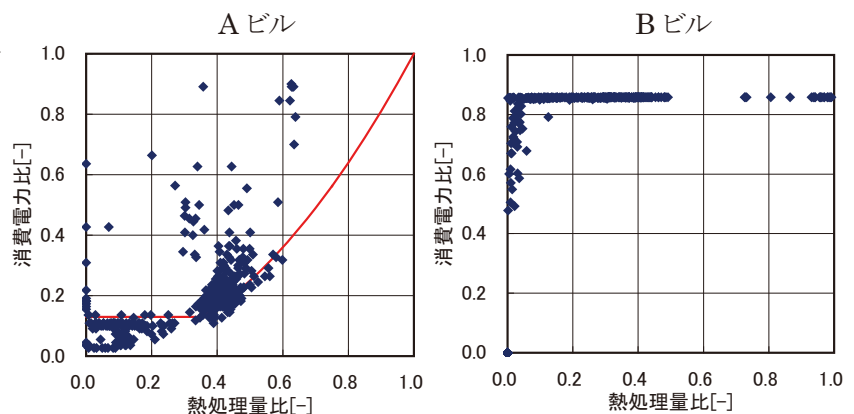


図10 変風量制御の実動特性計測結果

(左：エネルギー削減効果大きい例、右：エネルギー削減効果が小さい例)

建築関連の省エネ技術が普及に到る過程と革新的技術開発の局面

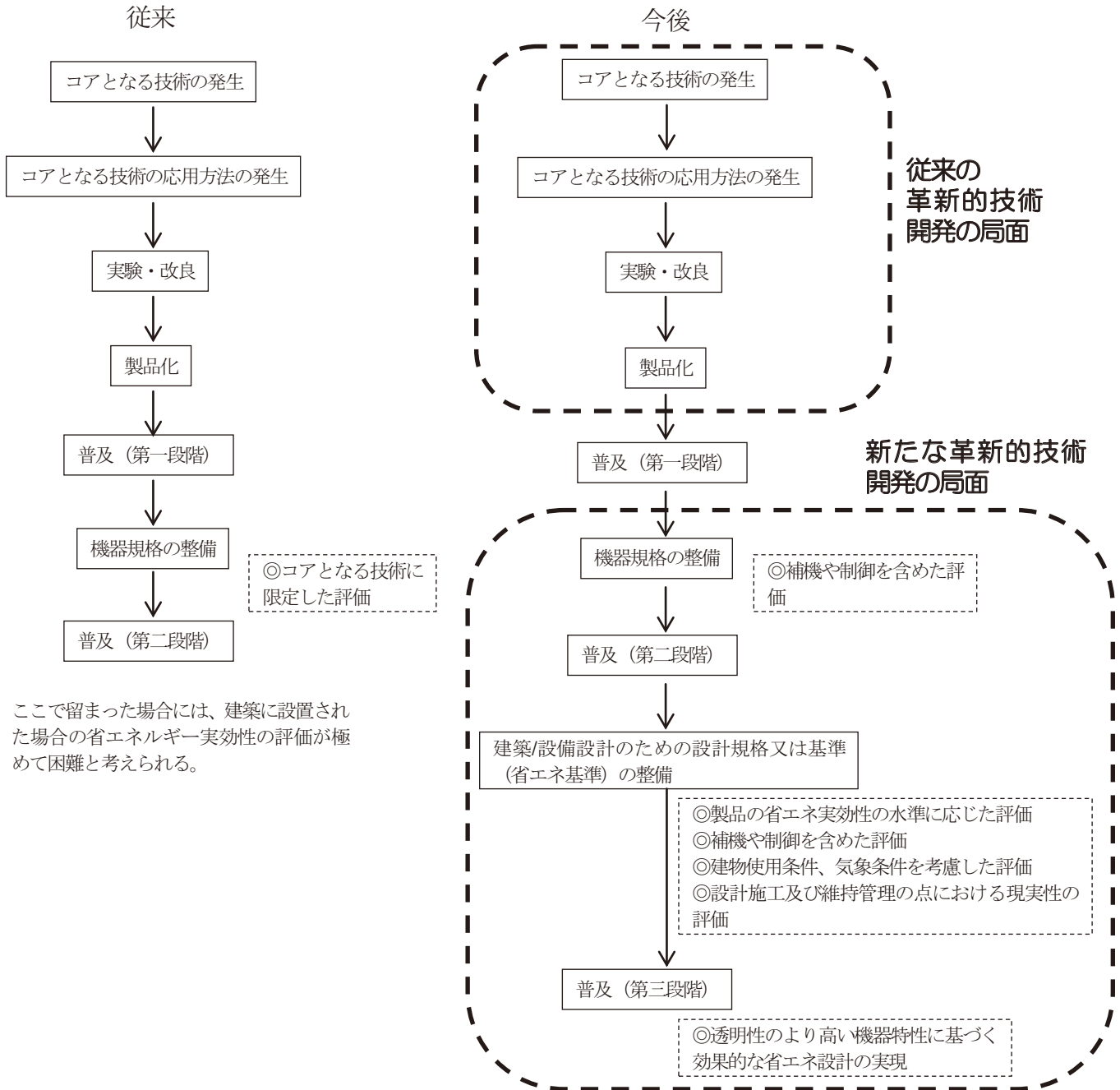


図 1 1 建築関連の省エネルギー技術の改良と普及に必要とされる革新的技術開発

v. 既存技術の向上と普及に向けた革新的技術開発

前項で例示したように、自然冷媒ヒートポンプ式電気給湯機の場合、ヒートポンプ単体は燃焼式ボイラーに比して高い熱効率を持つものの、外気温及び沸き上げ温度に依存してシステムとしての効率は良くもなるし悪くもなる。制御方法やタンクの断熱性等を含めた評価方法が確立することによって初めて省エネルギー実効性を確保することが可能になったと言っても過言ではない。

住宅の照明設備の場合、蛍光灯のランプ効率やLED照明器具としての効率向上のみでは省エネルギー性を確保することは難しく、過剰な明るさと消費電力を回避するため、室に必要とされる明るさを充足するための光の量（光束）と照明設備により得られるそれとの比較、その際に生じる消費電力の妥当性を設計者が判断できる手段が必要不可欠である。

ルームエアコンの場合は、機器規格によって規定されている定格能力時の効率値 COP や APF 値のみでは実効効率を推定することが困難であり、効率の外気温及び負荷率依存性、断続運転状態の発生状況を考慮することがエネルギー消費量の推定には不可欠であることが確認されている。

最後に、中央式空調の搬送動力低減手法のひとつである変風量制御方式については、ダクトの開度を調節するダンパー及び送風機の風量を可変とする装置があるのみでは、必ずしも搬送動力の削減に結びつかないこと、手法による省エネ効果が発揮できる建物の機能や使用条件に何らかの制約があること、制御方法の良し悪しによって省エネルギー効果は大きく変わり得ることなどが明らかになっており、可変風量方式のシステム構成及び設計のバリエーションを明確にすること、各バリエーションに関して適用限界や設計条件に応じた省エネ効果の定量化が早急に必要とされている。

以上に示した例は、省エネルギー技術に関しては既存技術であっても、また製品化されている技術であっても、実際の省エネルギー効果が合理的に評価されているとは限らないことを示している。この点に関して今後において不可欠な研究開発のポイントを図11に示すが、省エネルギー技術の分野に関しては、コアとなる技術が開発され製品化されただけでは足りず、製品を建物に設置し、制御する方法を規定し、評価することが欠かせない。製品化あるいは当該製品に限った規格の整備までを従来の革新的技術開発であるとする、省エネルギー技術開発に今後求められるものは、その先の建築物に適用する場合の設計法を規定した上でのシステムとしての省エネルギー性能の評価

が今後の革新的技術開発であると言える。信頼できる評価結果があって技術の向上が図れると言える。

### 3) 住宅・非住宅建築物の新しい省エネルギー性能評価

周知のように、住宅及び非住宅建築物に共通して近年における省エネルギー性能評価は、国内外共通の傾向として、エネルギー消費量推定値（設計エネルギー消費量）を尺度とするものに集約されつつある。エネルギー用途（暖房、給湯・・・）や設備の種類を限定して、その設備に固有の尺度で評価するものではなく、設備の種類を横断的に、さらにエネルギー用途も横断的に、エネルギー消費量を共通の尺度として個々の設備機器の省エネルギーへの貢献を評価するものである。詳細については、建築研究所などが開発した算定方法（文献10）11）等を参照されたいが、こうした評価のためには図11右側に示す流れに沿った評価技術体系の整備を欠くことができない。このことが今後の省エネルギー性能評価があるべき姿であり、最大の特徴であると言える。先に示した事例を引き合いに出すならば、ヒートポンプ給湯機の JIS 効率、ルームエアコンの APF や COP、ランプ効率、可変風量方式の採用の有無だけの情報でエネルギー消費量の推定を行うことは不可能と言える。

### 4) 評価法共有の重要性、その設計における応用

住宅及び非住宅建築物の新しい省エネルギー性能評価は、個々の技術を建物に組み込む場合の設計法を、評価のための前提条件として必要とするが（個々の技術の組み込まれ方や制御の方法が決まらなければ建物のエネルギー性能向上の貢献が評価できないため）、同時に個々の技術に関する評価方法に加えて設計方法が明確になることによって技術の普及が加速され得る。建物のエネルギー性能の評価が広まると同時に合理的、定量的な設計方法の普及が期待される。住宅に関しては「自立循環型住宅への設計ガイドライン」<sup>12)</sup>をそうした設計方法に位置づけることができるが、個々の技術や設計仕様に関する省エネルギー性能評価法を活用することによって、技術や仕様の選択内容に応じた省エネルギー効果の推定を示すことによって設計実務者に対して設計法を提供している。

## IV おわりに

本稿では、このところ10年以上にわたり建築研究所において実施してきた建物の省エネルギー性能評価法及び設計法の開発を顧みて、最も重要と思われる技術開発の共通項を抽出し、さらに今後の効率的な民生部門における温暖化効果ガスの削減を実現するための技術開発の方向性についてまとめた。

## 謝辞

本稿の作成に当たり、西澤繁毅氏及び赤嶺嘉彦氏（国土技術政策総合研究所）から支援を得た。また、住宅照明設備の設計に係る単位光束法の実験検証データに関しては加藤末佳氏（前建築研究所専門研究員、現金沢工業大学講師）、山口秀樹建築研究所研究員、伊藤大輔氏（ものづくり大学講師）にご協力いただいた。ここに記して謝意を表する。

## 参考文献

- 1)外務省、経済産業省、環境省(2013)：攻めの地球温暖化外交戦略、<http://www.mofa.go.jp/mofaj/files/000019458.pdf>
- 2)環境エネルギー技術革新計画に関する懇談会(2013)：環境エネルギー技術革新計画（改定案）、  
<http://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/kankyo/4kai/siryoy2.pdf>
- 3)IEA: Energy Technology Perspectives 2012
- 4)環境省(2013)：COP19に向けた温室効果ガス削減目標について、  
[http://www.kantei.go.jp/jp/singi/ondanka/kaisai/dai27/siryoy1\\_1.pdf](http://www.kantei.go.jp/jp/singi/ondanka/kaisai/dai27/siryoy1_1.pdf)
- 5)IEA: Transition to Sustainable Buildings, Strategies and Opportunities to 2050, 2013
- 6)IEA EBC Programme: Strategic Plan 2014-2019, October 2013
- 7)前真之、三浦尚志、羽原宏美、堀祐治、桑沢保夫、秋元孝之、宇梶正明、澤地孝男：日変動と短時間出湯を考慮した実験用給湯消費モード 修正 M1 の設定とガス瞬間式給湯機の効率評価に関する実験的検討 住宅のための省エネルギー手法の実験的評価に関する研究その3、日本建築学会環境系論文集、第76巻、第659号、pp.49-57、2011年1月
- 8)松下進、三木保弘：単位光束法の提案 住宅における多灯分散照明方式に適した簡易照明設計法に関する研究単位光束法の提案、日本建築学会環境系論文集、第78巻、686号、pp.325-332、2013年4月
- 9)住吉大輔、荻野登司、三浦尚志、細井昭憲、澤地孝男：実験住宅における家庭用ルームエアコンの実働性能評価実験、ルームエアコンの性能評価に関する研究その1、日本建築学会環境系論文集、第78巻、第688号、pp.497-505、2013年6月
- 10)建築研究所（協力：国土技術政策総合研究所）：住宅・建築物の省エネルギー基準及び低炭素建築物の認定基準に関する技術情報、  
<http://www.kenken.go.jp/becc/index.html>
- 11)国土技術政策総合研究所、建築研究所監修、平成25年住宅・建築物の省エネルギー基準解説書編集委員会編集：平成25年省エネルギー基準に準拠した算定・判断の方法及び解説、I 非住宅建築物、II 住宅、2013年5月
- 12)国土技術政策総合研究所、建築研究所監修：自立循環型住宅への設計ガイドライン、入門編、蒸暑地版、準寒冷地版、建築環境省エネルギー機構、2010年～2012年
- 13)澤地孝男：民生部門エネルギー消費量及び二酸化炭素排出量の

削減対策に関する動向、建築研究所平成21年度講演会、

<http://www.kenken.go.jp/japanese/research/lecture/h21/pdf/06.pdf>

14)村上周三他：特集マクロ経済分析を考慮した住宅・建築物の低炭素化に向けた技術の普及方策を政策提言、IBEC、No.192、2012年9月

15)中央環境審議会地球環境部会中長期ロードマップ小委員会：中長期の温室効果ガス削減目標を実現するための対策・施策の具体的な姿（中長期ロードマップ）（中間整理）、2010年12月

---

© 建築研究資料 第 157 号

平成 26 年 3 月 28 日 印刷

平成 26 年 3 月 28 日 発行

編集  
発行 独立行政法人建築研究所

---

本資料の転載・複写の問い合わせは下記まで

独立行政法人建築研究所企画部企画調査課

〒305-0802 茨城県つくば市立原 1 番地

電話(029) 864-2151 (代)