

住宅用構造建材「JFE フレームキット」の性能

Performance of “JFE FRAME KIT”

江森 邦夫 EMORI Kunio JFE 鋼板 住宅建材部システム建材営業室 主任部員(課長)
坂本 義仁 SAKAMOTO Yoshihito JFE スチール スチール研究所 土木・建築研究部 主任研究員(課長)
高木 伸之 TAKAGI Nobuyuki JFE スチール 建材技術部 主任部員(課長)

要旨

JFE グループの独自開発による、高耐震性住宅用構造建材「JFE フレームキット」の特長について概説し、ブレースパネルの実大モデルによる実験から剛性、耐力、変形性能などの構造性能評価の結果を示す。さらに、耐火構造、住宅としての断熱・防露設計仕様の概要を説明し、推奨断熱仕様のモデル住宅での性能検証の結果を紹介する。

Abstract:

“JFE FRAME KIT” is the structural system which includes structure design and building materials for the high-performance housing. This article explains the outline of structural performance such as strength, stiffness and deformation capacity, that are evaluated through the full scale loading test of braced panel fire-resistant structure, insulation specifications and the result of measurement of the model house of recommended insulation specifications are discussed along with structural performance.

1. はじめに

近年、兵庫県南部地震、新潟県中越地震と震度7を超える大地震が続いていること、今後に発生するであろう東海地震・南海地震に対する不安が高まっていることから、住宅の耐震性への関心は高い。JFE 鋼板では、高耐久、高耐震性を特長とする、3階建て以下の住宅および事務所、店舗などの低層建物向け構造建材商品「JFE フレームキット」(写真1)を開発した。

本編では、ブレースパネルの構造性能確性試験による剛性、耐力、変形性能の評価、耐火構造の概要、断熱・防露仕様と推奨断熱仕様のモデル住宅での性能検証結果について概要を報告する。

2. 特長

「JFE フレームキット」は、在来木造軸組工法の軸組部材の鉄化であり、在来木造軸組工法の持つ間取りの自由度と鉄骨造としての信頼性を併せもっている。使用している部材はすべて溶融亜鉛めっきされていることから高い耐久性が確保されている。柱、梁を含むすべての接合部が、独自



写真1 JFE フレームキット
Photo 1 “JFE FRAME KIT”

開発した接合金物によるボルト接合となっている。一般鉄骨構造の接合部では、溶接が多く使用されることから溶接管理に対する負荷が多いため、溶接工程が存在しない。これは、製品の均一性能が確保されている要因となる。

「JFE フレームキット」は、工業化住宅とは異なり、一品生産の鉄骨造であるため、建築確認申請時の構造設計図書、鉄骨製作時の工作図が必要となるが、独自開発による設計

支援プログラム「AI-FRAME」をはじめとする設計・製作にかかると一貫システムにより効率的に各種データが作成される。構造建材と構造計算書、構造図などがセットされた商品であることも大きな特長である。

3. ブレースパネルの構造性能

3.1 性能評価方法

「JFE フレームキット」は、鉛直ブレースと両側の柱、上下梁によるブレースパネル耐力壁により、地震荷重、風荷重などの水平荷重をすべて負担している。接合部を含めたブレースパネルの構造性能評価は、日本建築センター発行のビルディングレター「鉄骨系低層建築物の構造耐力性能に関する技術規程について」¹⁾、「建築基準法施行規則第1条の3第1項の認定に係る性能評価業務方法書（鉄骨造の建築物又はその部分）」²⁾に準拠し、実大モデルにより実施した。試験体と荷重装置を図1に示す。実験のパラメータは、ブレース径、梁の接合形式、柱の板厚、上下梁サイズとした。荷重条件は、層間変形角 $\pm 1/200$ rad 1回、 $\pm 1/100$ rad 2回、 $\pm 1/50$ rad 1回の繰り返し荷重の後、 $1/12.5$ rad まで荷重し、ボルト接合部の破断、過大な局部

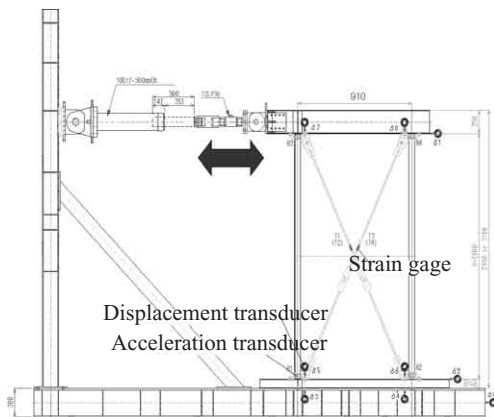


図1 荷重装置

Fig.1 Apparatus of braced panel test

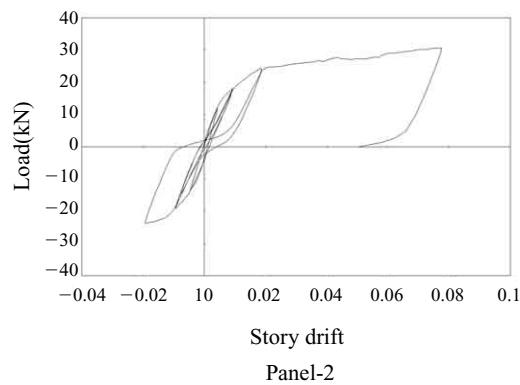
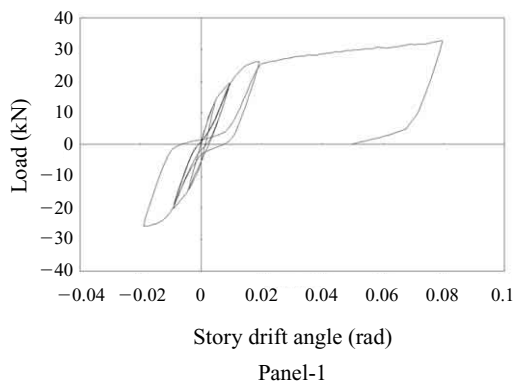


図2 荷重変形曲線

Fig.2 Load-deflection curve

変形がないことを確認している。

3.2 性能評価結果概要

図2に、標準試験体（ブレース M20、柱板厚 3.2、上梁 BH-250×99×4.5×4.5、下梁 H-100×100×6×8）の梁通しモデル、梁分断モデルの荷重-変形曲線（履歴曲線）を示す。すべての試験体で引張ブレース構造特有のブレース降伏によるスリップ型の安定した復元力特性を示した。

図3にエネルギー等価なバイリニア-曲線（累積曲線）にモデル化し、剛性、許容耐力、耐力およびDs値を示す。実験によるDs値は、0.29から0.33であったが、設計値としては安全側にすべて0.35としている。減衰性能については7%程度あることも、実建物の加振実験により確認している³⁾。なお、ツーバイフォー耐力壁（壁倍率5.0）との比較では約1.7倍の耐力となっている。

4. 耐火構造概要

4.1 開発の背景

JFE フレームキットを都心部住宅や3階建て共同住宅へ展開するため、ALC100 mmを使用した国内初のメンブレン耐火構造などを開発して対応してきた。その後、木造ツーバイフォー業界が耐火認定を取得し、耐火建築物市場に参

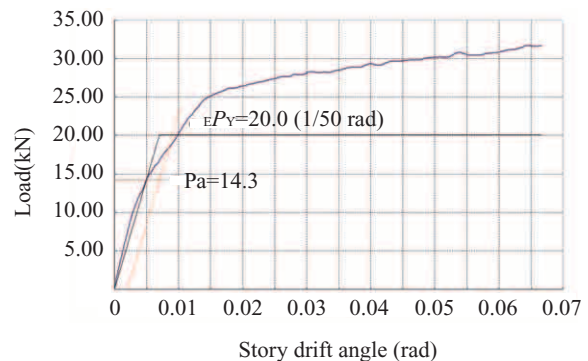


図3 累積曲線

Fig.3 Skeleton curves of braced panel

入したことを契機に、フレームキットの競争力向上のため、ALC50 mmを使用したJFE型耐火構造（メンブレン構造耐力壁・合成被覆梁 耐火1時間）を開発し、2006年2月に国土交通大臣認定を取得している。ALC50を使用したメンブレン耐力壁および合成被覆梁（被覆厚25 mm、比重0.2）の認定は国内初である。

4.2 構造概要

ALC50を使用した耐火構造概要を図4に示す。今回の耐火構造の特長は、(1)耐火被覆薄肉化（外装ALC100 mm → 50 mm、内装強化石膏ボード15 mm × 2 → 12.5 mm × 2、梁吹付ロックウール30 mm → 25 mm・ γ 0.3 → 0.2）。(2)簡易施工（強化石膏ボードビス留め→接着併用タッカー留め、耐火充填材不使用）。(3)常温時の断熱・防露性能との両立（無機系充填断熱をベースに防露性確保のため、付加断熱（有機系断熱材を含む）を実施）の3点である。(1)、(2)に関しては、遮熱性、非損傷性の低下、(3)は有機系断熱材（可燃物）を内包することになり、一般に耐火上不利側とされているが、全体構成の最適化により安全性を確保している。

4.3 ALC50 メンブレン耐火外壁仕様

外装材と内装材を耐火被覆として利用するメンブレン構造とし、柱や梁の耐火被覆を省略している。

外装材はALC50 mmで、メーカーで今後生産される可能性のあるデザインも含めてすべてのデザインが採用可能となるように認定範囲を設定している。縦張り、横張りとも可能である。ALC目地には耐火充填材を用いない仕様とした。

内装材は、強化石膏ボード重ね張りで、下張りはビス留め、上張り強化石膏ボードの留め付けは、ビス留めまたは接着剤（酢酸ビニル樹脂系接着剤）とタッカーの併用としたが、接着方法は一般的な団子張りではなく全面塗布とし

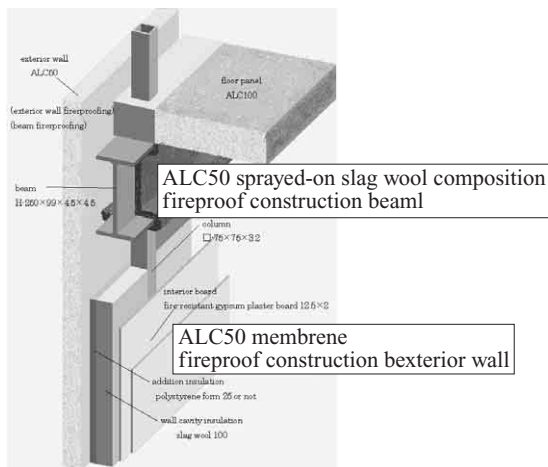


図4 耐火構造概念図

Fig.4 Fire-resistant structure image

た。

充填断熱材は耐火性能を重視し、ロックウール32K以上としている。グラスウールや有機系断熱材は使用できない。

付加断熱材は寒冷地の防露性確保に必要なため、ロックウール、グラスウールのほか、ポリスチレン、フェノールフォームを選択可能としている。厚さは25 mmを標準としたが、温暖地域では不要なため、認定範囲には付加断熱なしを含めている。

4.4 ALC50・吹付ロックウール合成被覆梁仕様

住宅系の外装材は、柱、梁とのクリアランスが小さく、梁の屋外側の耐火被覆工事をする事ができないため、ALC50・吹付ロックウール合成被覆梁とした。

外装部分は、外壁と共通であり、耐火充填材は使用していない。吹付ロックウールは、施工性に配慮し、厚さ25 mm、密度0.2と、在来工法より低く設定したが、吹付ロックウールとの取り付け部には特別の補強は不要である。

梁が熱橋となって常温時に室内側に結露を生じないように、梁の屋外側ウェブ部分にロックウール32K50 mmを充填する。外壁と同じく、付加断熱材併用可能とした。使用可能な断熱材は外壁と同じである。

4.5 耐火試験結果概要

外壁1時間耐火（载荷加熱）試験における主な判定基準は、加熱1時間、放冷3時間の計4時間において、裏面温度上昇最高180℃以下、平均140℃以下、最大軸方向収縮 $h/100$ mm (31.5 mm)以下、最大軸方向収縮速度 $3h/1000$ mm/min (9.45 mm/min)以下である（ h は試験体初期高さ）。梁は同じく、最大たわみが $L^2/4$ 000 dmm (200.1 mm)以下、最大たわみ速度が $L^2/9$ 000 dmm/分 (11.6 mm/分)以下である（ L は梁スパン、 d は梁せい）。

財団法人日本建築総合試験所で行った外壁屋外载荷加熱試験後の状況を写真2、外壁屋内载荷加熱試験後の状況を写真3、合成被覆梁载荷加熱試験後の状況を写真4に示す。

外壁屋外载荷加熱試験では、加熱中に特に大きな変化はなく、加熱終了後、5～18 min経過後にALC目地から加熱側に発火したが、1時間程度で鎮火した。加熱裏面側は、内装石膏ボードの目地仕上げ材に軽微な亀裂を生じたほか問題はなく、全体として大きな損傷は認められなかった。裏面温度上昇は最高65℃、平均45℃、最大軸方向収縮は0.26 mm、最大軸方向収縮速度は0.44 mm/minであった。

外壁屋内加熱試験では、石膏ボードが加熱終了数分前に脱落したが、面外変位・軸方向収縮から求めた鋼材温度は、360～400℃程度であり、既往の実験結果（鋼材温度500℃超え）に対し、温度上昇は抑制されている。外装ALCは、ビスが膨張してビス頭周辺部に軽微な亀裂を生じたほか問題はなかった。裏面温度上昇は最高43℃、平均34℃、最大軸方向収縮は0.12 mm、最大軸方向収縮速度は0.36 mm

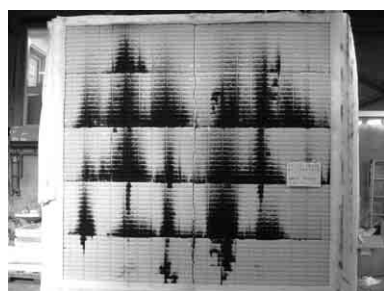


写真2 外壁（耐力）試験体（屋外側）
Photo 2 Bearing wall specimen (Out-side)



写真3 外壁（耐力）試験体（屋内側）
Photo 3 Bearing wall specimen (In-side)



写真4 梁試験体
Photo 4 Beam specimen

であった。

合成被覆梁載荷加熱試験では、耐火被覆に有害な損傷は見られず、最大たわみ34.9 mm、最大たわみ速度は1.3 mm/minであった。参考値として計測した鋼材温度は、最高446℃、平均343℃であり、ほぼ事前の試算とおりであった。

5. 断熱防露仕様概要

JFE フレームキットは、骨組みの耐震性、耐久性について、住宅金融支援機構（旧住宅金融公庫）規準や品確法の性能表示の条件（以下、規準など）を十分に満足しているが、省エネルギー性能は、骨組み自体では確保し得ず、鋼材の耐久性維持の観点からも、適切な断熱・防露設計が求められる。しかし、顧客である工務店の多くは主として木造住宅を手がけており、鉄骨造に関する断熱設計・施工ノウハウに乏しく、独自に設計するのは非常に困難な部分である。ここでは、フレームキット向けの断熱・防露仕様に

ついて基本的考え方を述べ、モデル住宅での測定結果の概要を示す。

5.1 断熱・防露仕様

住宅の断熱工法は、グラスウール、ロックウールに代表される無機繊維系断熱材を壁体内に充填する充填断熱が一般的だが、鉄骨造では熱橋による熱損失の防止、防露に対する配慮が不可欠である。平成11年建設省告示第九百九十八号（次世代省エネ基準）以前の設計および施工の指針では、住宅の断熱は省エネルギー性能の確保、熱損失の防止の観点から、鉄骨造のように熱橋が含まれる構造に関しては、熱橋からの熱損失を考慮して一般部分の断熱材を厚くする仕様が示されている⁴⁾。しかし、金属熱橋の影響は充填断熱で高断熱化するほど顕著であり、断熱材を単純に厚くした場合や、断熱補強の仕方によっては、逆に結露を促進させるため、断熱仕様の選定には相当の注意が必要である。そのため、フレームキットでは、日本建築学会拡張アメダス気象データを活用し、二次元伝熱・透湿シミュレーションによって、各地点ごとに充填断熱、外断熱の仕様を設定しているが、鉄骨造には断熱性、防露性の観点から外断熱が好ましいため、フレームキット向けの推奨断熱仕様としては、プラスチック系断熱材による外断熱通気工法を設定している。ちなみに、1999年省エネ告示の指針にある断熱基準には、鉄骨造の構造熱橋の特定が一般には困難との理由から、充填断熱工法は定められておらず、外断熱工法だけが規定されている⁵⁾。

充填断熱と外断熱の比較のために、外気を -4.7°C （IV地域最低値 栃木県真岡）、室内を 15.0°C 、70%（室内露点温度 9.6°C ）として行った三次元伝熱シミュレーション結果を図5に示す。ここでは、充填断熱材の熱抵抗値を、外張断熱材： $0.89\text{ m}^2\text{K/W}$ の2倍以上の $1.88\text{ m}^2\text{K/W}$ としたが、熱橋の影響により、充填断熱の熱貫流率は $0.89\text{ W/m}^2\text{K}$ と、外断熱の $0.80\text{ W/m}^2\text{K}$ よりも大きくなっている。室内表面温度は、充填断熱が熱橋部で著しく低下して露点温度を下回り、室内表面結露が発生しているが、外断熱は、熱橋の影響がほとんどないため、表面温度はほぼ均一である。

5.2 推奨断熱仕様モデル住宅での検証

JFE フレームキットでは、熱橋による結露防止のため、外断熱のほか、基礎断熱工法を推奨している。基礎に換気

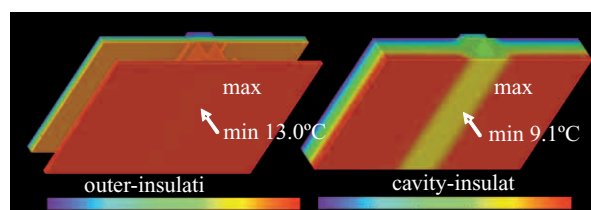


図5 三次元伝熱解析結果

Fig.5 Result of 3D heat transfer simulation

口を設けない基礎断熱工法は、年間を通じて床下環境が安定し、土台や柱脚の冷却による室内表面結露（冬季）や、高温多湿空気が低温の床下に流入することによる床下結露（梅雨・夏季）のリスクが低いといわれている一方で、建設初期の段階で、基礎コンクリートから蒸散する水分が外部に排出されにくい構造のため、室内空気の換気状況によって、建設から1～2年程度は、床下湿度が高くなることが指摘されている。

ここでは、JFE フレームキットによる外断熱・基礎断熱住宅の室内環境、床下環境を1年にわたって測定し、外断熱・基礎断熱工法の性能を検証した結果の概要を紹介する。

5.2.1 建築物概要

測定対象は、愛知県名古屋市内に、建設された外壁外断熱・基礎断熱住宅（すめーるSI）で、2006年1月に竣工したモデルハウス（非常駐）である。外観を写真5に示す。

対象住宅は、外壁ALC50mm直張、屋根は金属折板を用いており、外壁および基礎に押出発泡ポリスチレン25mmを外張りし、天井にグラスウール200mmを敷設している。

内装は、2階天井、ユーティリティ、1階和室スペース部分を除いて施工していないスケルトン形式で、2階は、玄関側の半分が吹き抜けになっており、構造材、木製間柱、外装下地（シナベニア）を現しとして、室内全体を開放した空間としている。吹き抜け部の内観を写真6に示す。

5.2.2 測定項目

測定は、予備計測を含め、2006年1月14日から、2007年2月9日まで行った。主な測定項目は以下のとおりである。

- (1) 基礎断熱住宅の床下の温湿度性状、結露の有無：
床下空気温度、湿度、土間コン表面温度
- (2) 外断熱・基礎断熱住宅の室内環境、床下との相互関係：
空気温度（居室スペース中心部、洗面）、湿度（居室スペース中心部、洗面）、1F床表面温度（和室、洗面）
- (3) 鋼材結露の有無：
鋼材温度（居室中心部2F床梁、外壁部2F床梁）



写真5 モデルハウス外観
Photo 5 Model house exterior

- (4) 試験環境の把握：外気温度、湿度（建物北側に設置）

5.2.3 計測結果

(1) 室内環境

外気、居室、床下の空気温湿度を図6に示す。室内表面温度と露点温度を図7に示す。

断熱・気密性が高いため、非空調でも夏の最高気温は外気より最大2～4℃低かった。冬は外気より常に高く、日最低気温時でも2～6℃高かった。日変動も小さい。床表面温度は夏に低く、冬に高く、日変動は非常に小さかった。鉄骨はり温度は、室温とほぼ同じで、露点温度よりも高く推移しているため、結露は発生していない。

湿度は、おおむね60～70%程度で推移し、外気湿度変動と比較して極めて安定していた。

(2) 床下環境

床下温湿度を図8に示す。床下温度は、夏は日最低気温、冬は日最高気温程度で、安定して推移した。床下湿度は8月に90%を超えたが、以降徐々に低下した。床下空間は外気よりも室内環境の影響が大きく、エアコン稼働によって



写真6 内観
Photo 6 Interior

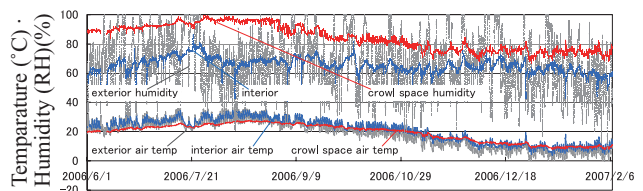


図6 空気温湿度の推移

Fig. 6 Trend of air temperature and humidity

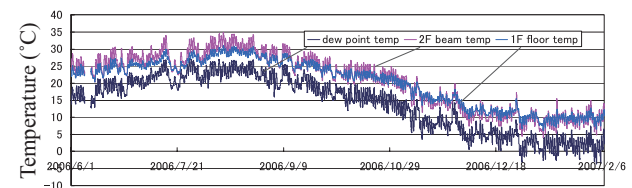


図7 表面温度と露点温度の関係

Fig. 7 Relations of surface temperature and dew point temperature

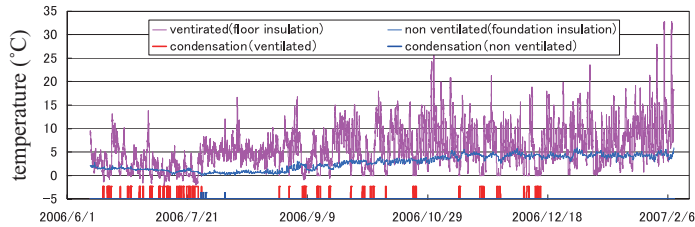


図8 床下温湿度の比較

Fig.8 Compare of crawl space temperature and humidity



写真7 1年後の床下状況

Photo 7 Crawl space view one year later

床下温湿度が変動した。通常の床下換気モデル（外気水蒸気が床下に流入した場合）の試算結果も併せて図8に示したが、基礎断熱よりも床下結露発生頻度が高くなり、6～7月はおおむね床下結露を生ずる結果となった。

5.2.4 床下の耐久性

竣工後1年後の床下の状況を写真7に示す。フレームキット部材、ボルト、ナットも光沢があり、錆は確認できなかった。ユニットバスの支柱、設備関係金物、ボルト、ナットも錆は確認できなかった。鋼製束の調整ボルトナット、大引き受けの一部に白錆を確認したが、鋼製束本体には問題はなく、大引き受けと木材を接合するビスも光沢があり問題はなかった。木材のかびの発生、腐朽も確認できなかった。

6. おわりに

本論では、「JFE フレームキット」の特長と、以下の検討、

開発により、建物の安全性が確保されていることを示した。

- (1) 構造性能は、実大モデルによる繰り返し载荷試験により、耐力、変形性能および、ボルト接合部の破断、過大な局部変形がないことを確認した。
- (2) 耐火性能は、メンブレン構造外壁、ALC50・吹付ロックール合成梁の開発を行い、国土交通大臣認定を取得した。
- (3) 断熱・防露仕様は、熱橋を考慮して地域別の推奨仕様を設定するとともに、モデル住宅における検証を実施し、耐久性を確認した。

今後もさらなる耐震性能、居住性能の向上を目指した技術開発を進めていく予定である。

参考文献

- 1) 日本建築センター. 鉄骨系低層建築物の構造耐力性能に関する技術規程について. ビルディングレター. 1997, no. 9, p. 219-233.
- 2) 日本建築センター. 建築基準法施行規則第1条の3第1項の認定に係る性能評価業務方法書（鉄骨造の建築物又はその部分）. ビルディングレター 2002, no. 3, p. 37-44.
- 3) 伊藤均, 難波隆行, 沖見司, 江森邦夫, 淵脇常貴, 二宮淳. 「NKK フレームキット」の構造性能. NKK 技報. 2001-12, no. 175, p. 21-25.
- 4) 住宅・建築省エネルギー機構. 住宅の新省エネルギー基準と指針.
- 5) 住宅・建築省エネルギー機構. 住宅の次世代省エネルギー基準と指針.



江森 邦夫



坂本 義仁



高木 伸之