

技術論文

建材薄板製品の多様化／省資源で施工性と断熱性能に優れたスチールハウス

Diversification of Building Sheet Products/Structural Properties and Energy Saving Performance of Light-gauge Steel Framed Houses

藤橋 一紀* Kazunori FUJHASHI
小橋 知季 Tomoki KOBASHI
藤内 繁明 Shigeaki TOHNAI
大成 幸一郎 Kouichirou OONARI
勝尾 美香 Mika KATSUO
中村 大輔 Daisuke NAKAMURA
佐藤 圭一 Keiichi SATO
河合 良道 Yoshimichi KAWAI

抄 録

建材薄板製品は、SDGs・カーボンニュートラルニーズに合致する製品であり、建築分野において、屋根・壁等の外装材、胴縁・母屋等の構造二次部材、主に低層建築物の柱・梁等の主要構造部材に広く使われている。ここでは建材薄板製品の特長を述べた上で、それらを活かした事例として、低層建築を対象としたスチールハウスにおける鋼材躯体の最少化や現場工数の削減に向けた開発・建設事例と、断熱性能面でのゼロエネルギー化に向けた取り組みを紹介する。

Abstract

Building sheet products are products that meet SDGs and carbon neutral requirements. In the construction field, they are widely used for exterior materials such as roofs and walls, secondary structural members such as furring strips and purlins, and main structural members such as columns and beams for low-rise buildings. In this paper, after describing the features of building sheet products, we present examples of development and construction aimed at minimizing the steel framework and reducing on-site man-hours in steel houses targeting low-rise buildings. We also introduce our efforts toward zero energy in terms of heat insulation performance.

1. はじめに

建築分野において、厚さ 0.35mm～6.0mm の薄板鋼板は、屋根・壁等の外装材、胴縁・母屋等の構造二次部材、主に低層建築物の柱・梁等の主要構造部材に、広く使われている。

建材薄板製品の主な特長として、以下 3 点を挙げる。

- ①冷間成形によるロールフォーミングまたはベンダーで成形するため、自由なカタチとすることができる(図 1)。
- ②多様な材質(強度×表面処理)の中から適材適所で仕様を選べる。構造二次部材では、強度面で、従来の 400N、490N に加えて 600N 級を、表面処理は、高耐食仕様として ZAM®・スーパーダイマ®(耐食性は亜鉛めっき鋼板の 3.8 倍)、ZEXEED®(耐食性は亜鉛めっき鋼板の 5.0 倍)をラインナップしている。また、屋根壁材では、表面処理の高耐食仕様として SGL®(耐食性はガルバリウム鋼

板の 3 倍超)をラインナップしている。

- ③断熱材・遮音材・被覆材等、他素材と複合することで、構造・耐火・遮音・温熱等、各種性能を有する多機能部材としての活用も可能である。

日本製鉄(株)グループはこれらの特長を活かし、または組み合わせることで、“省資源(軽量化)”, “高寿命(高耐久性)”, “高性能(高強度, 高省エネルギー, 高遮音)”等, SDGs・カーボンニュートラルニーズに合致する製品開発を行っている。本報では、多機能部材の商品事例として、NS スーパーフ



図 1 建材薄板製品の自由なカタチ
Free form of thin sheet building materials

* 厚板・建材事業部 建材開発技術部 建築建材技術室 建築技術第二課長 東京都千代田区丸の内 2-6-1 〒100-8071

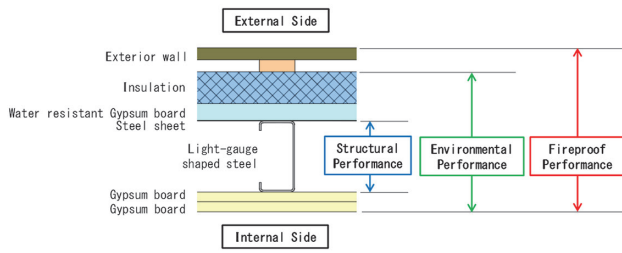


図2 多機能パネル
Example of multi-function panel

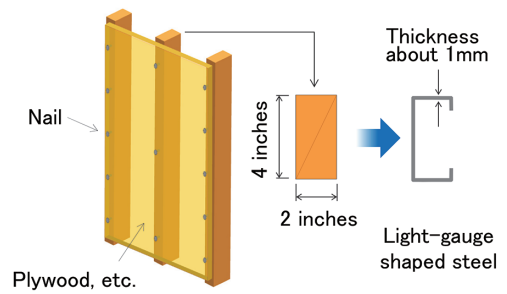


図5 2x4 木材と薄板軽量形鋼
2x4 wooden frame and light-gauge shaped steel

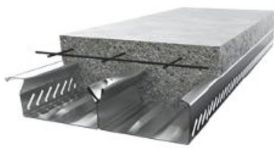


図3 高性能デッキ床
High-performance steel deck



図4 嵌合式折板
Fitting-type folding plate



写真1 スチールハウスと薄板軽量形鋼
Steel framed house and light-gauge shaped steel



レーム工法[®]について紹介(図2)、本技報の他2報では、とくにカタチの工夫により既存商品が抱える課題解決を図った開発事例として“建築床用デッキプレートの高機能化”(図3)と“鋼製屋根の耐風圧性能向上”(図4)について紹介する。

2. スチールハウスの概要

スチールハウス(写真1)は、構造性能や防耐火性能をはじめ、外張り断熱・通気工法による温熱性能や省エネルギー性能の確保と向上に向けた開発を通して、市場や顧客から高い評価を得つつ、認知されてきた。

ここでは、まず、鉄鋼会社を中心に取り組んできたスチールハウス工法の特徴を述べる。次に、本工法の低層建築市場への普及を目的に日本製鉄が独自に開発を進めてきたNSスーパーフレーム工法[®]の構造特性や建設事例を論ずる。更に、脱炭素化のニーズが高まる中で、本工法の外張り断熱工法を活かした省エネルギー性能について紹介する。

スチールハウス工法は、図5に示すように、枠組壁工法(ツーバイフォー)の枠組材を、木材から厚さ1.0mm前後のプレめっき処理された薄板軽量形鋼(スチール)に置き換えたもので、合板や石膏ボードなどの構造面材をドリルねじで枠組に固定して壁パネルや床パネルを構成し、これ



写真2 工場での構造パネル製作状況
Scene of structural panel production in factory



写真3 ドリルねじによるパネル接合
Jointing method for structural panel with self-drilling screw

らを箱のように組み立てる工法である。

構造パネルは写真2のように工場生産され、現場では構造パネルどうしを写真3のようにドリルねじで接合する。熟練労働者に依存せず、施工が容易であり、現場工数が少なく、短工期で建設可能である。

3. NSスーパーフレーム工法[®]の開発と建設事例

国内では、(社)鋼材倶楽部(現在、(一社)日本鉄鋼連盟)を事務局として当時の鉄鋼6社(川崎製鉄(株)、(株)神戸製鋼所、新日本製鉄(株)、住友金属工業(株)、日新製鋼(株)、日本鋼管(株))が開発した鋼材倶楽部型(以下、KC型)と称する2階建て戸建住宅のスチールハウス商品を2000年に本格発売したが、本工法を、広く低層建築市場へ普及させていくため、新日本製鉄(当時)が独自のスチールハウス工法として進化させたものが図6に示すNSスーパーフレーム工法[®](以下、NSSF工法)である²⁾。

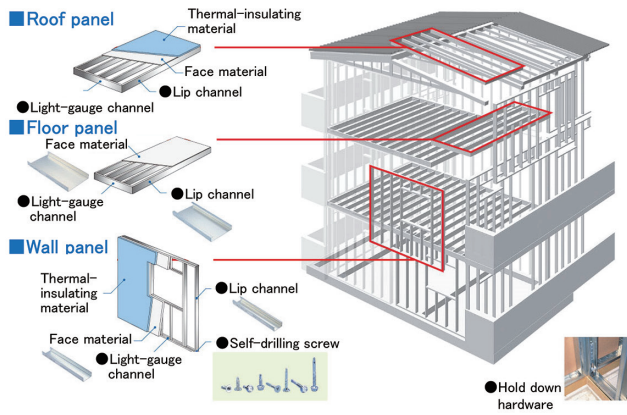


図6 NSスーパーフレーム工法®の構造概要
Structural system of "NS-Super-Frame"

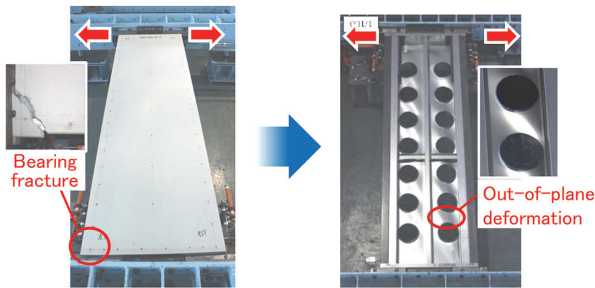


(a) 3-story steel framed house



(b) 4-story steel framed house

写真5 社宅
Company condominium



(a) Ceramic plate shear wall for 3-story building

(b) Steel sheet shear wall for 4-story building

写真4 耐力壁の破壊性状
Destructiveness of bearing wall

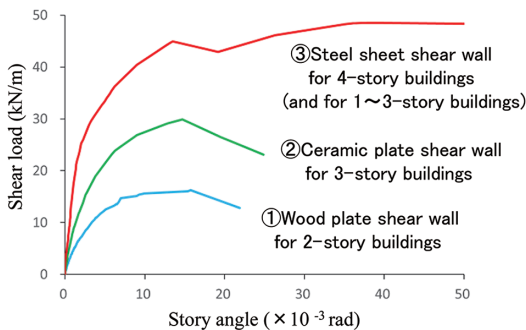
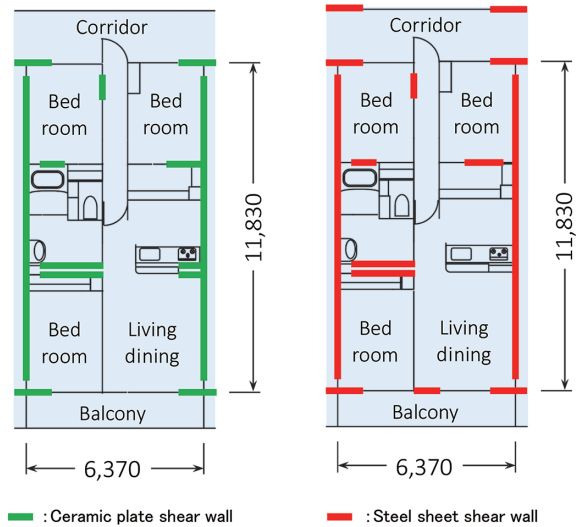


図7 窯業系面材、鋼板面材耐力壁の荷重変形関係
Shear load-story angle relation of bearing walls

3.1 高強度耐力壁を使用した3～4階建て共同住宅

NSSF工法では、KC型では実現困難であった3～4階建て共同住宅にも対応できるよう、窯業系面材や鋼板面材を用いた高強度耐力壁を開発している。窯業系面材(写真4(a))は硬度が高く、2階建て戸建住宅で使用されている合板面材耐力壁に対し、約2倍の剛性と強度を発揮できる(図7②)。鋼板面材耐力壁(写真4(b))は、パーリングを施した孔(以下、パーリング孔)を複数設けることで鋼板の面外への大きな孕みを抑制するとともに、複数の孔間に斜め方向の小さな皺を複数発生させることで抵抗力を保持したまま変形性能を高める特徴があり³⁻⁵⁾、合板面材耐力壁の3倍以上の強度を発揮することができる(図7③)。



(a) 3-story steel framed house

(b) 4-story steel framed house

図8 社宅(3階建て及び4階建て)の平面図
Floor plan of company condominium (3-story and 4-story)

建物の階数や面積が大きくなるほど、耐力壁に作用するせん断力(地震力や風圧力)が増大するが、地震エネルギー吸収性能に優れた鋼板面材耐力壁を用いることで、耐力壁量の増加を抑制し、構造躯体(耐力壁)の増加を抑制するとともに、室内面積を有効活用することが可能である。

写真5は、同一敷地内に建設された3階建てと4階建ての共同住宅(社宅)の例である。4階建てであっても鋼板面材耐力壁を使用することで室内に配置される耐力壁量の増加を抑え、3階建て(窯業系面材耐力壁を使用)と同一の間取りを構成できる(図8)。

写真6は、3階建て独身寮の例である。3185mmの間口に対し、南北面（桁行方向）の外壁を鋼板面材耐力壁とすることで、室内に壁が出現しない広い空間を確保できる（図9）。

4階建て社宅の場合、鋼材使用量は、鉄筋コンクリート造（以下、RC造）の60%程度と省資源である（表1）。上部躯体重量もRC造の約1/3と軽いことから基礎工事（含む地盤改良工事）を省力化できるとともに、建設現場では、



写真6 3階建て独身寮（出典：日鉄テックスエンジ(株)）
3-story steel framed dormitory

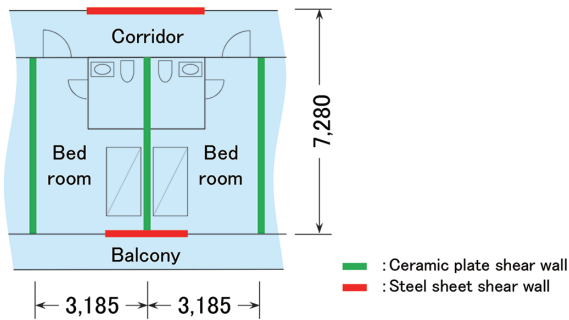


図9 3階建て独身寮の平面図
Floor plan of 3-story dormitory

表1 単位床面積当たりの鋼材重量と建物重量の比較
Steel weight and building weight per unit floor

Type of weight	NS-Super-Frame™	Reinforced concrete building
Weight of steel (N/m ²)	450	800
Weight of building (N/m ²)	4000	12000

工場で先作りされたパネルをドリルねじで接合するだけであるため、RC造よりも約2か月工期を短縮できる（図10）。

3.2 ユニット屋根トラスを使用した平家事務所・店舗

平家では、大空間を有する事務所や店舗に対応するため、薄板軽量形鋼の根太単材で構成した屋根パネル（図6の屋根パネル）よりも曲げ剛性が高い屋根トラスを使用している。

図11に示すように、桁トラス、直交トラス、水平ブレースからなるユニット屋根トラス（登録意匠第1643895号）を工場で先組みし、建設現場ではユニット相互を連結するだけとすることで、高所作業を軽減し、現場工数を大幅に削減している。本工法は単位床面積当たりの鋼材使用量が一般鉄骨造の約60%と少ないことから、SDGsやカーボンニュートラルを重視する大手企業の事務所（写真7）に継続採用されている。

本工法の進化形として、鋼材使用量の更なる削減を図る

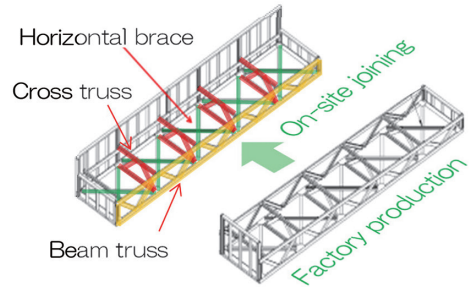


図11 ユニットトラスの構成
Composition of unit truss



写真7 平家事務所の建方
Scene of 1-story steel framed office construction

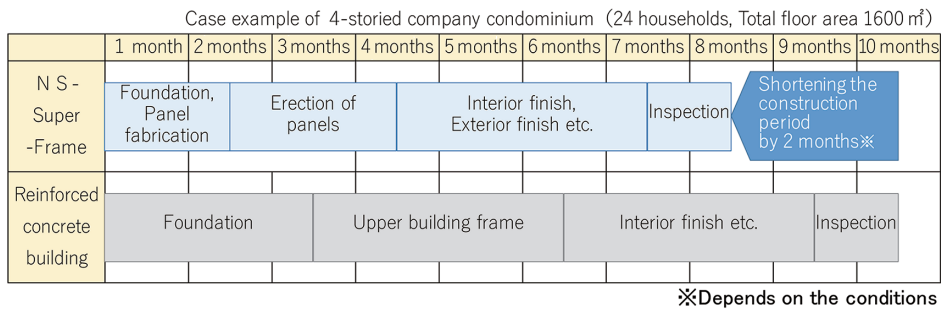


図10 NSSF工法と鉄筋コンクリート造の建設工期
Construction schedule of “NS-Super-Frame” and reinforced concrete building

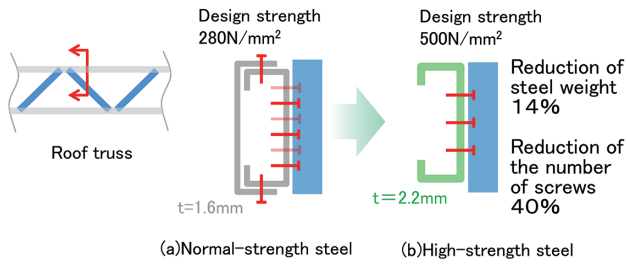


図 12 高強度鋼使用による効果
Effect of high-strength steel

べく、屋根トラス部材への高強度鋼（引張強さは560N/mm²）の適用を計画している。スパン9.1mのトラスをモデルとした試算では、高強度鋼による座屈応力度の上昇によりトラス部材の鋼材重量を14%削減できるとともに、ドリルねじ接合部の形鋼支圧耐力も上昇することから、ねじ本数（施工工数）の削減も可能であり（図12）、今後建設予定の平家事務所で効果を確認予定である。

4. NSスーパーフレーム工法®の温熱性能

世界的な脱炭素化の流れを受け、国内では2030年までに住宅・建築物分野でCO₂削減40%を目指し、新築住宅・建築物の平均でゼロエネルギー化を実現する計画が始動している。これにより、新築住宅・建築物におけるZEH（Net Zero Energy House）・ZEB（Net Zero Energy Building）基準は早晚義務化される見込みであり、将来はZEH・ZEB基準よりも更に高い断熱性能の基準への移行の動きも出てきている。NSSF工法においてもZEH・ZEB仕様を揃え、需要家へPRし、実物件への適用を推進するとともに、更なる高断熱化に向けた仕様開発を進めている。ここでは、NSSF工法の現状の温熱性能を定量的に示すとともにZEH仕様の一例と最新の物件への適用事例を紹介する。

4.1 現状の温熱性能とZEH化に向けた改善策

NSSF工法の代表的な外壁とその壁体内構造を図13に示す。構造躯体は薄板軽量形鋼と構造面材をドリルねじで一体化したパネルで構成され、屋外側の住宅空間全体を断熱材と通気層で“外張り断熱・通気工法”を標準仕様としている。屋外側には窯業系の外装材、室内側には石膏ボードといったメンブレンが配置されている。このように鋼材でできた躯体の外側を断熱材で隙間なく覆う外張り断熱工法を採用しており、現行の省エネルギー基準を大幅に上回る高い断熱性能を発揮している。

このことは、実物件を対象とした外皮性能の定量的評価の結果からも言える。千葉県君津市（6地域）に建設された3階建てのNSSF工法社宅について、各階の妻住戸と中住戸の6部屋を抽出し、各住戸における部位の熱損失量を算出した。各部位の断熱仕様を表2に、検討結果を図14に示す。外皮平均熱貫流率U_A値はいずれの住戸も現行の省

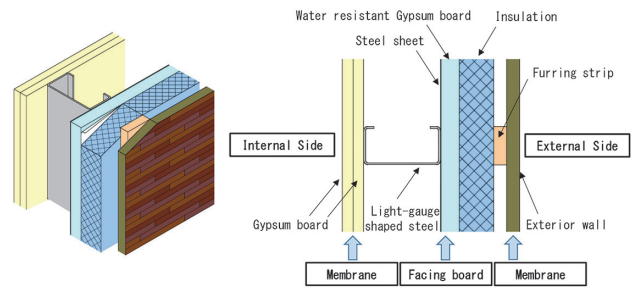


図 13 NSSF工法の外壁と壁体内構造
Exterior wall structure of steel framed houses

表 2 NSSF工法社宅の断熱仕様
Insulation specifications of company condominium

	Current specifications	ZEH specifications
Roof	Extruded poly-styrene (λ: 0.028)	40 mm
Exterior wall	Extruded poly-styrene (λ: 0.028)	25 mm
Window	Ordinary double glass	Low-E double glass*1
		Ordinary double glass*2
Foundation (Under slab of indoor side)	Extruded poly-styrene (λ: 0.028)	25 mm

*1 Top & bottom floor corner dwelling unit, *2 Others

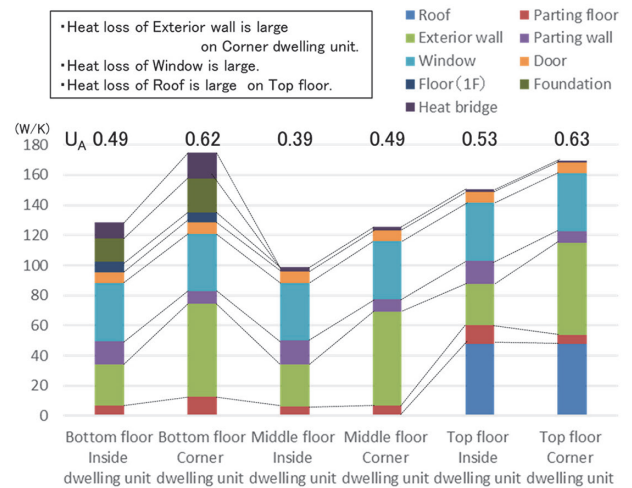


図 14 NSSF工法社宅の部位熱損失およびU_A値
Heat loss of company condominium

エネルギー基準（6地域U_A値0.87）を大きく上回っており、最上階と最下階の妻住戸以外はZEH基準（6地域U_A値0.6）をも満足している。熱損失量は各住戸とも外壁と窓が多く、最上階はそれらに加え屋根からの熱損失量が多い。最上階と最下階の妻住戸の窓をLow-E複層ガラスへ変更すれば、全住戸においてZEH基準を満足でき、また、窓だけでなく外壁等、熱損失量が多い部位に対して集中的に断熱対策を施すことで、更なる高断熱化も期待できることが分かった。現在、ZEH基準を超える高断熱仕様を検討中である。

4.2 最新の物件への適用事例

直近、NSSF工法の案件でのZEH・ZEB仕様の適用ニ-



写真 8 NSSF 工法名古屋研修センター
(出典：日鉄テックスエンジ(株))
Nagoya Training Center

ズは急増しており、ゼロエネルギー化の関心の高さが伺える。ここでは ZEB の適用事例を紹介する。

『ZEB 日鉄テックスエンジ(株) 名古屋研修センター』

建設事業を手掛ける日本製鉄グループ会社の日鉄テックスエンジは、自社の設計・施工で自社施設の名古屋研修センターを建設し、ZEB 認定を同社として初めて取得した(写真 8：愛知県大府市、NSSF 工法、地上 2 階建て、延べ床面積 935.36m²、2022 年 4 月竣工)。従来と同様の断熱仕様を採用する一方で、LED 照明、照明制御(自動点灯)、分散空調、全熱交換器の高効率設備導入による“省エネルギー”を実現するとともに、太陽光パネルによる“創エネルギー”とリチウムイオン蓄電池による“蓄エネルギー”を併用し、エネルギー消費量 -3% を実現させた(省エネルギー率 53%、創エネルギー率 50%)。今後も ZEB を強みの一つとして日本製鉄グループ案件だけでなく、顧客企業の事務所向けに本工法の拡販を目指す。

5. おわりに

低層建築を対象としたスチールハウスにおける構造躯体最少化や現場工数削減に向けた開発・建設事例と、断熱性能面でのゼロエネルギー化に向けた取り組みを紹介した。

世界的な SDGs の流れの中で、資源の有効利用やカーボンニュートラルへの対応技術が要求されている。更に、国内では現場労働者の高齢化を背景とした省力化ニーズも高まっている。

スチールハウスはこれらのニーズに対応できる工法であり、今後も住宅分野や事務所、介護老人保健施設用途等に幅広く活用されることが期待される。

参考文献

- 1) 川上寛明 ほか：新日鉄技報. (387), 74-84 (2007)
- 2) 藤内繁明 ほか：新日鉄住金技報. (403), 121-129 (2015)
- 3) 河合良道, 藤内繁明, 田中浩史, 佐藤篤司, 小野徹郎：パーリング孔付き鋼板耐力壁のせん断抵抗メカニズム せん断剛性と大変形挙動. 日本建築学会構造系論文集. 84 (757), 437-446 (2019.03)
- 4) 河合良道, 藤内繁明, 西澤穂浪, 佐藤篤司, 小野徹郎：パーリング孔付き鋼板耐力壁の水平補剛材の効果 せん断剛性と大変形時挙動. 日本建築学会構造系論文集. 84 (763), 1281-1291 (2019.09)
- 5) 河合良道, 藤内繁明, 海原広幸, 佐藤篤司, 小野徹郎：ハイパネルパーリング孔付き鋼板耐力壁のせん断抵抗メカニズム せん断剛性と大変形時挙動. 日本建築学会構造系論文集. 85 (768), 275-285 (2020.02)



藤橋一紀 Kazunori FUJIHASHI
厚板・建材事業部 建材開発技術部
建築建材技術室 建築技術第二課長
東京都千代田区丸の内2-6-1 〒100-8071



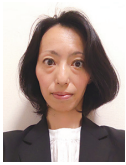
小橋知季 Tomoki KOBASHI
鉄鋼研究所 鋼構造研究部
鋼構造研究第二室 研究第二課 主幹研究員
博士(工学)



藤内繁明 Shigeaki TOHNAI
厚板・建材事業部 建材開発技術部
建築建材技術室 建築技術第二課 首席主幹



大成幸一郎 Kouichirou OONARI
日鉄テックスエンジ(株)
建設事業部 営業部 チーフマネジャー



勝尾美香 Mika KATSUO
厚板・建材事業部 建材開発技術部
建築建材技術室 建築技術第二課 主幹



中村大輔 Daisuke NAKAMURA
日鉄テックスエンジ(株)
建設事業部 設計技術部 マネジャー



佐藤圭一 Keiichi SATO
厚板・建材事業部 建材開発技術部
建築建材技術室 建築技術第二課 主幹



河合良道 Yoshimichi KAWAI
日鉄テックスエンジ(株)
建設事業部 技術部 チーフマネジャー
S.E., P.E.