

技術論文

海外市場における形状の特徴を活かした設計提案によるH形鋼の拡販

Expanding the Overseas Market through Valued Design Proposals by Emphasizing Advantages of the Profile of Structural H-shapes

須田 敬之*
Noriyuki SUDA村橋 喜満
Yoshimitsu MURAHASHI西田 裕一
Yuichi NISHIDA千田 光
Hikaru SENDA鈴木 一弁
Kazuaki SUZUKI安藤 慶治
Keiji ANDO

抄 録

欧米で生まれ、製造技術の開発により日本で独自の進化を遂げたH形鋼を海外で拡販する上での取り組みについて報告した。HC400, HC500, ハイパービーム®は海外のH形鋼にはない“かたち”を有しており、その特徴を整理し、構造設計や利用技術面からの優位性について検証した。その結果、柱や梁を設計した場合、HC400, HC500, ハイパービームは、その“かたち”の特徴を活かすことで、欧州サイズのH形鋼よりも市場競争力を有する材料であることを明らかにした。

Abstract

This report is to show the expansion of the overseas market of H-shapes, initially developed in Western countries and then improved in Japan through the development of innovative manufacturing technology. The section profile, known in Japanese as “KATACHI”, of NSHYPER BEAM™, HC400 and HC500 has multiple advantages compared to H-shapes conventionally used in Western countries. Looking at the advantages of “KATACHI” from a structural design point of view, we have made it clear that NSHYPER BEAM, HC400 and HC500 are competitive options.

1. はじめに

エネルギー分野での積極的な設備建設や、経済成長を続けるアジア・アフリカ諸国でのインフラストラクチャ整備に伴い、海外では多くのプロジェクトが計画、実行されており、海外市場は建材商品の新たな需要創出の場として大いに期待できる。また、投資効果の早期発揮やプロジェクトの集中に伴う建設コストの高騰への対応のため、建設現場の生産性の向上への取り組みも進められおり、エネルギー分野では現地施工を極力少なくするため、オフサイトで設備毎に建設を進め、搬送後現地で据え付けを行うモジュール工法、高層ビルでは建設の工期短縮に向け、地下部と地上部を同時に施工するトップダウン工法の採用が拡大しつつある。材料においては、大型のH形鋼は、モジュール架構で効率よく大スパンを確保するための梁材として、極厚H形鋼は、トップダウン工法の地下部の大荷重を支える柱材（キングポスト）として、各建設工事の生産性向上に寄与しており、その採用事例は増えてきている。

一方、各工事で用いられるH形鋼の寸法やサイズ構成は、日本材と海外材では異なる。日本のサイズは、鋼構造の普及と共に日本で進化してきた“かたち”であり、海外サイズのH形鋼にはない強みがある。その特徴をうまく生かすことで、海外においてもより経済的で生産性の高い建設が可能になると考える。

そこで本報文では、海外と日本のH形鋼の特徴を整理し、日本のH形鋼の優位性を明確にするとともに、その寸法やサイズ構成が鋼構造物の設計に与える影響について検証し、報告する。

2. 圧延H形鋼の生産の歴史と課題認識

圧延H形鋼は20世紀初頭に西欧でユニバーサル圧延法が発明されて生産が開始されたり。ユニバーサル圧延法では、垂直・水平ロールを有するユニバーサルミル（図1）が用いられ、サイズに応じたロールを準備し、サイズ毎にロールを交換して圧延を行うため、製造サイズに制約が生じてしまう。図2に欧州の代表的な圧延H形鋼である

* 建材事業部 建材開発技術部 海外建材技術室 上席主幹 東京都千代田区丸の内2-6-1 〒100-8071

British universal beams (UB) と European wide flange beams (HE) のサイズ構成を示すが、高さ 700mm 超や幅 300mm 超のサイズは限定されている。結果的に近年の設備の大型化や設計の最適化に十分に対応できない現状がある。

新日鐵住金(株)では、欧米から約 60 年遅れて、1959 年に圧延 H 形鋼生産・販売が始まり²⁾ 今日に至っているが、その寸法やサイズ構成は、欧米とは異なっている。例えば主に柱用と使用される極厚 H 形鋼の HC400, HC500 は、欧米と同様にユニバーサル圧延法で製造しているが、地震国日本ならではの断面柱材の最適化へのニーズに対応するため、きめ細かい対応のもと欧米の極厚 H 形鋼を大きく超えるサイズ数をラインアップしている。また、1989 年には、当時日本で多く建設された鉄骨鉄筋コンクリート構造の高層ビル用の溶接 H 形鋼 (BH) に対し、スクーロール³⁾ (図 3) を用いウェブの内法寸法を自在に調整できる圧延技術を開発し、BH と同じ 50mm ピッチの外形を有する圧延 H 形鋼“ハイパービーム®”を商品化した。それまで制約の多

かった圧延 H 形鋼のサイズの自由度が大幅に改善され、大型の構造物向けに国内では一般的な H 形鋼になっている。

このように欧米の技術で生産を開始した H 形鋼は、その後、日本で独自の成長を遂げ、その形状も海外の H 形鋼にはない特徴をもった“かたち”となっている。その“かたち”の優位性を熟知し、設計・利用技術上の差別化を図ることで、拡大する海外、特にアジア市場での需要の取り込みを行ってきている。

3. “柱”向け H 形鋼について

3.1 “かたち”コンセプト (HC400, HC500 の特徴)

極厚 H 形鋼の HC400, HC500 は、国内では H400×400 シリーズ, H500×500 シリーズと呼ばれ、高層建築物の柱材として 1960 年代から本格的に使用されはじめた³⁾ H 形鋼である。欧州サイズの UC356×406 シリーズの H 形鋼に相当することから、海外では、トップダウン (逆打ち) 工法用のキングポスト (構真柱) や大型トラスの弦材等、軸力が卓越する部材で使用される。

HC400 の高さは 398~508mm, 幅は 402~462mm, フランジの板厚は 20~75mm, HC500 の高さは 492~582mm, 幅は 465~500mm, フランジの板厚は 20~65mm, 材料規格は JIS の他, EN10025-2 S235, S275, S355 に対応している。サイズ数は、表 1 に示すように、UC356×406 シリーズが約 7 サイズに対し、HC400 は 69 サイズ, HC500 は 35 サイズ、あわせて 104 サイズである。この豊富なサイズをもとに、例えば、キングポストの設計において、BH との比較では溶接量の削減、海外サイズの H 形鋼との比較では鋼材量削減に寄与できる材料として評価を得ている。

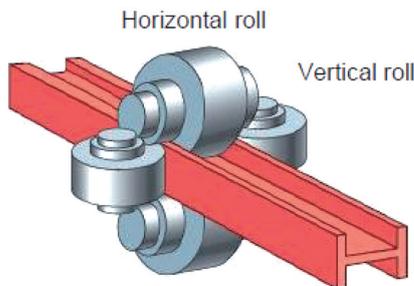


図1 ユニバーサルミル
Picture of the universal rolling mill

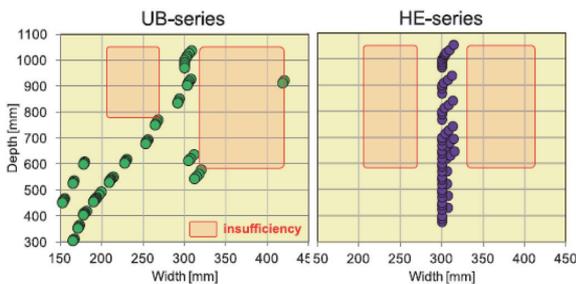


図2 UB サイズと HE サイズの高さと幅の関係
Comparison of depth and width of UB (Universal beams) and HE (European beams)

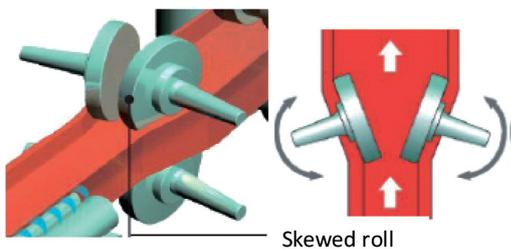


図3 スクーロール圧延
Picture of the skewed roll rolling

表1 極厚 H 形鋼のサイズ比較
Comparison of Giant H-shapes: UC356×406, HC400 and HC500

Series	Series		UC356X406-7sizes						
	d	b	tw: Web Thickness (mm)						
UC356X406	320.6	188.2	18.4	22.6	26.6	30.6	35.8	42.1	47.6
HC400	358	193.5							
HC500	452	225							

Series	tw: Web Thickness (mm)														
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
HC400-69sizes															
HC500-35sizes															

3.2 設計・利用技術上の優位性

HC400, HC500 のもう一つの“かたち”の特徴は、類似の欧州サイズの UC356×406 シリーズより高さ、幅が、大きめの寸法となっていることである。その結果、HC500 の単位重量あたりの強軸、弱軸に対する断面二次モーメントは共に UC356×406 シリーズより大きくなり（図4）、より経済的な部材設計が可能になる。

図5に HC572×495×45×60 (631kg/m) と UC356×406×634 (H474.6×424.0×47.6×77.0, 634kg/m) の座屈長さとの座屈耐力の関係を示す。EN1993-1-1に基づく計算結果である。ほぼ同等の単位重量の H 形鋼であるが、仮に座屈長さ 8m

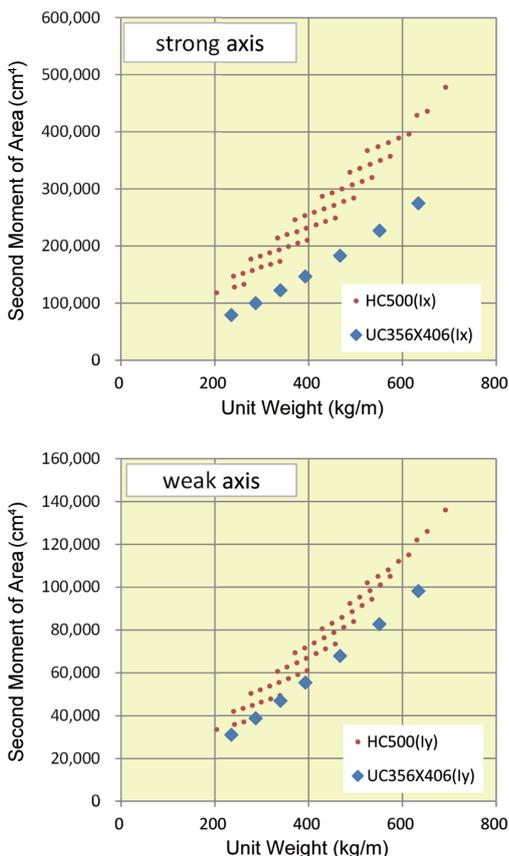


図4 極厚 H 形鋼の断面二次モーメント
Comparison of Giant H-shapes using second moment of area and unit weight

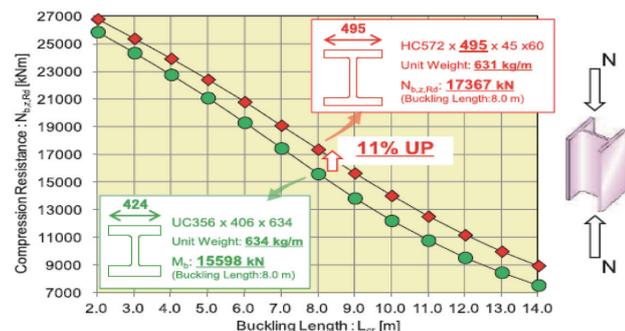


図5 圧縮耐力と座屈長さ
Comparison of UC356×406×634 to HC572×495×45×60 using compression resistance and buckling length

の部材を想定した場合、HC572×495×45×60 の座屈耐力は 17367kN となり、UC356×406×634 の 15598kN の約 1.1 倍の結果となる。また、HC400, HC500 は、UC356×406 シリーズと同等の座屈耐力をより薄い板厚の H 形鋼で確保できることになり、柱と柱を溶接して接合する際の溶接作業の省力化にもつながり、この点においても工事コストの削減や工期短縮に寄与できる材料である。

4. “梁”向けH形鋼について

4.1 “かたち”コンセプト（ハイパービームの特徴）

ハイパービームの“かたち”の特徴は、高さ 1000mm 幅 400mm まで対応できる大きさとサイズの多さである。図6にハイパービームの外形を示す。高さ 400～1000mm、幅 200～400mm の H 形鋼であり、そのサイズ間隔は一般的な BH と同様に 50mm である。欧州サイズの H 形鋼では限定的な幅も 200mm, 250mm, 300mm, 350mm, 400mm の 5 サイズあり、大梁、小梁といった対象部材に応じた構造設計の最適化に適している（図7）。板厚のバリエーションも豊富で、サイズ数は現在では 609 に及ぶ。材料規格は JIS の他、ASTM, EN 等の海外規格にも対応している（表2）。大断面かつサイズピッチ 50mm のハイパービームは、BH の代替として最適であり、納期遅延リスクを抱えるプラント物件等での採用も増えている。これらの物件では、溶接レスによる工期短縮、品質向上に加え、プラント特有の設計荷重の変更に対し、梁の高さを変えずにフランジ厚の変更のみで、他の設備設計等に影響を与えない対応ができることから、エンジニアリング全体の効率化につながる材料としての評価も得ている。なお、ハイパービームの“か

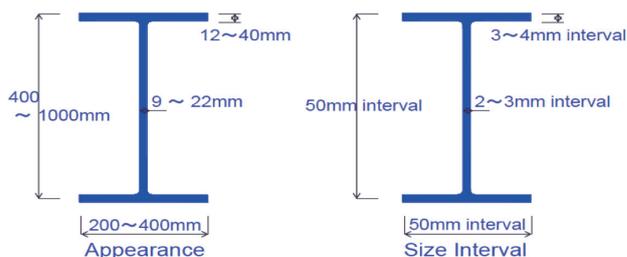


図6 ハイパービームの外形
Specifics of the section profile of NSHYPER BEAM

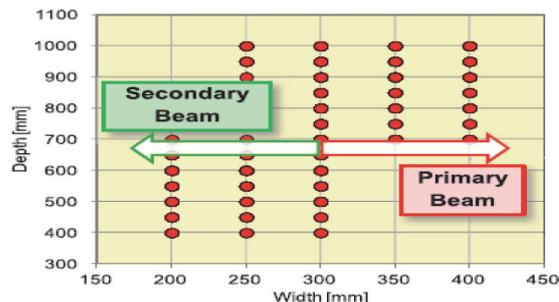


図7 ハイパービームの幅と高さの関係
Size structure of NSHYPER BEAM

表2 ハイパービームの対応規格
Steel grade ability of NSHYPER BEAM

		NSHYPER BEAM™			
Steel grade	ASTM	A36		e	
		A572 Gr50		e	
		A992		e	
	EN10025-2	S235	JR/J0/J2	e	
		S275	JR/J0/J2	e	
		S355	JR/J0/J2	e	
	EN10225	S355	G11+M	e	
		JIS	JIS G 3101	SS400	e
	JIS G 3106		SM400	A/B	e
			SM490	A/B YA/YB	e
JIS G 3136	SN400		A/B	e	
	SN490		B	e	
Tolerance	ASTM		ASTM A6		e
	EN	EN10034		e	
	JIS	JIS G 3192		e	

e: "experience" in past projects

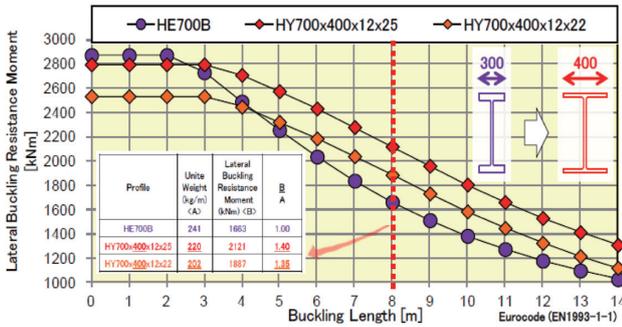


図8 ハイパービームと HE 断面の横座屈耐力の比較
Comparison of HY700×400×12×22, HY700×400×12×25 and HE700B using lateral buckling resistance moment and buckling length

たち”の内、303サイズについては、2014年2月から、JIS G 3192 “熱間圧延形鋼の形状、寸法、質量及びその許容差”の“H形鋼の標準断面寸法”に掲載されている。

4.2 設計・利用技術上の優位性について

4.2.1 “梁”の横座屈を考慮する場合

床のない生産設備等の梁では、横座屈による耐力の低下を考慮した設計を行う必要がある。

図8に張間が8~10m程度の比較的大スパンの架構を想定し、梁にハイパービーム HY700×400×12×25, HY700×400×12×22 と、欧州サイズの HE700B (H700×300×17×32) を用いた場合の座屈長さ毎の横座屈耐力を示す。EN1993-1-1に基づく結果である。

座屈長さ 8m の場合、各 H 形鋼の横座屈耐力は HE700B が 1663 kNm, HY700×400×12×25 が 2121 kNm, HY700×400×12×22 が 1887 kNm となる。また、各 H 形鋼の鋼重を考慮し単位重量当たりの耐力を比較すると、HE700B

表3 座屈曲線に応じた Imperfection Factor (UK National Annex to Eurocode3)

Selection of buckling curb for a cross-section (UK National Annex to Eurocode3)

Section	Limits	Buckling Curve
Rolled Section	$h/b \leq 2$	b
	$2 < h/b \leq 3.1$	c
	$3.1 < h/b$	d
Welded Section	$h/b \leq 2$	c
	$h/b > 2$	d

Buckling Curve	b	c	d
Imperfection Factor α_{LT}	0.34	0.49	0.76

superior ← → inferior

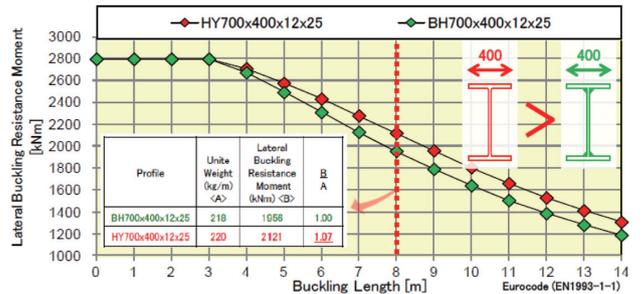


図9 ハイパービームと BH の横座屈耐力の比較
Comparison of BH700×400×12×25 to HY700×400×12×25 using lateral buckling resistance moment and buckling length

に対し HY700×400×12×25 が 1.40 倍、HY700×400×12×22 が 1.35 倍の横座屈耐力を有する結果になる。

この差の背景には、各部材の幅や板厚の違いによる断面性能の違いに加え、Eurocode で定められた Imperfection Factor の違いがある。Imperfection Factor とは、部材の残留応力や初期不整が構造物に与える影響を考慮し定められた係数であり、H 形鋼の強度や、高さとの比率に応じて異なり、幅の広い H 形鋼の方が座屈耐力算出時に初期不整等の影響は小さいとの考えから、より有利な値になっている。

具体的には、表3に UK National Annex to Eurocode 3 に記載の Imperfection Factor を示す。H 形鋼の高さ (h) と幅 (b) の比率 (h/b) 毎に座屈曲線 (Buckling Curve) が定められ、その座屈曲線に応じた Imperfection Factor が与えられる。例えば、HE700B では h/b は 2.33, HY700×400×12×25, HY700×400×12×22 では 1.75 となり、Imperfection Factor は HE700B の 0.49 に対し、HY700×400×12×25, HY700×400×12×22 は耐力計算上より有利な 0.34 となり、前述の耐力差の一因となる。

また、残留応力等の影響は圧延 H 形鋼より BH の方が大きいと評価されており、Imperfection Factor は BH の場合、圧延 H 形鋼より耐力上不利な値となっている。従って、ハイパービームは同サイズの BH より大きい横座屈耐力を有する結果となる。例えば、同断面の BH700×400×12×25 と HY700×400×12×25 の座屈長さ 8m の単位重量当たりの横座屈耐力は、BH700×400×12×25 に対し HY700×400×12×25 が 1.07 倍の値となる (図9)。

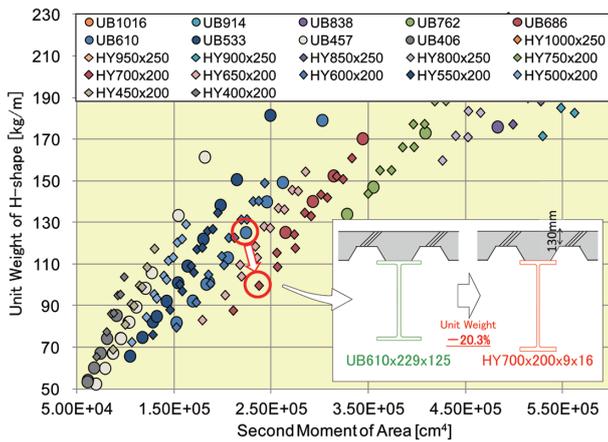


図 10 ハイパービームを用いた床スラブの断面二次モーメント Comparison of UB-sections to NSHYPER BEAM using second moment of area for composite floor beam and unit weight

4.2.2 “梁”の曲げ座屈を考慮しない場合

床スラブと一体の合成梁の H 形鋼は、床スラブで座屈が拘束され横座屈による耐力低下はないため、合成梁の剛性でその性能を評価する。

図 10 に梁に UB サイズの H 形鋼とハイパービームを用いた場合の合成梁の断面二次モーメントと H 形鋼の単位重量 kg/m の関係を示す。EN1994-1-1 に基づく結果である。

まばらな UB サイズ (○印) に対し、ハイパービームはフランジ幅が 250mm 以下でもサイズが多く (◇印)、UB サイズの H 形鋼を用いた合成梁と同等の断面二次モーメントを有する合成梁をより軽量のハイパービームで設計できることがわかる。

具体的には、事務所ビル等を対象に 230000cm⁴ 程度の断面二次モーメントを必要とする合成梁を設計する場合、その H 形鋼を UB サイズから選択すると UB610×229×125 (H612×229×12×20, 125kg/m) の一種類となるが、多サイズのハイパービームでは、フランジ幅 200mm に限定しても、HY600×200×12×25, HY650×200×12×19 など複数の選択肢があり、天井裏の有効スペースが許せば HY700×200×9×16 (99.6kg/m) も選択でき、高さを大きくすることでフランジやウェブの板厚を薄くでき、鋼材重量を約 20%削減できる結果となる。

5. おわりに

海外の H 形鋼にはない“かたち”を有する日本の H 形鋼の特徴と設計・利用技術上の優位性について、HC400, HC500, ハイパービームを例に、以下の 3 点を報告した。

- 1) “柱”向け H 形鋼では、HC400, HC500 は、欧米サイズの H 形鋼よりひと回り大きい形状により、座屈耐力が向上する。
- 2) “梁”向け H 形鋼では、横座屈を考慮する場合、広幅のハイパービームが有効であり、欧米サイズの H 形鋼と比較して単位重量当たりの曲げ座屈耐力が、大きくなる部材の選定が可能である。
- 3) “梁”向け H 形鋼では、横座屈を考慮しない場合、多サイズで細幅のハイパービームが有効であり、鋼材重量を削減できる部材の選定が可能である。

本報文では設計・利用技術の観点から H 形鋼の拡販について述べたが、一方で、拡販に向けては、納期や受注数量上の課題解決も重要である。アジアのファブリーケータが欧米の H 形鋼を手配する場合に、想定以上に納期がかかり加工スケジュールを圧迫してしまう事例や、少量での購入が難しいといった事例がある。これは、製造ミルの立地や、日常的に製造していないサイズへの対応上の問題であるが、新日鐵住金では同じアジアに立地する地理的な優位性と、常時製造を行っているハイパービーム等へのサイズ調整や圧延スケジュールも踏まえた受注調整で、短納期化、少ロット材への対応を行ってきている。

今後も“かたち”の特徴を活かし HC400, HC500, ハイパービームの設計提案を進めると共に、アジアに立地のメーカーとして、納期対応等も含め、ユーザーのニーズに応じていく。

参照文献

- 1) 日本鉄鋼連盟：新しい建築構造用鋼材。2008, p. 101-102
- 2) 小川茂, 内田秀, 三浦洋介, 山田健二, 白石利幸, 芹澤良洋, 井上剛, 近藤泰光, 明石透, 林慎也, 中村洋二, 齋藤俊明：圧延技術開発の歩みと今後の展望。新日鉄技報。(391), 94-102 (2011)
- 3) 長谷川博行, 山口種美, 鈴木孝彦, 澤泉紳一, 児玉雅生, 山本広一, 杉山博一, 佐藤寛哲：建築構造用 TMCP 極厚 H 形鋼 (NSGH) の開発。新日鉄技報。(368), 77-82 (1998)



須田敬之 Noriyuki SUDA
建材事業部 建材開発技術部
海外建材技術室 上席主幹
東京都千代田区丸の内2-6-1 〒100-8071



村橋喜満 Yoshimitsu MURAHASHI
ニッポン・スチール&スミトモ・メタル サウ
スイストアジア社 シニアマネジャー
博士(経済学)



西田裕一 Yuichi NISHIDA
建材事業部 建材開発技術部
海外建材技術室



千田 光 Hikaru SENDA
ニッポン・スチール&スミトモ・メタル イン
ドネシア社 テクニカル・ダイレクター
博士(工学)



鈴木一弁 Kazuaki SUZUKI
ニッポン・スチール&スミトモ・メタル U.
S.A.社 主幹 博士(工学)



安藤慶治 Keiji ANDO
建材事業部 建材開発技術部
海外建材技術室長