

ヘアライン調電気めっき鋼板 FeLuce®

Electro Galvanized Steel Sheet with Hairline-like Appearance “FeLuce™”

二葉 敬士*
Takashi FUTABA
久米 くるみ
Kurumi KUME

柴尾 史生
Fumio SHIBAO
春田 恵利
Keitoshi HARUTA

上杉 幸弘
Yukihiko UESUGI
田中 勇樹
Yuki TANAKA

横道 拓哉
Takuya YOKOMICHI

抄 録

ラミネートなどの加飾層によらず金属の素材感を表現した FeLuce® について、金属の素材感の表現とヘアライン付与方法を述べた。金属の素材感の維持には、映り込みなどに対する基材形状の印象と樹脂表面の印象の乖離を抑えることが重要であると考えられた。この指針に基づいて開発した FeLuce® は金属の素材感に優れていた。ヘアライン付与のため、電気めっきラインにヘアライン加工設備を導入した。これにより、めっき～ヘアライン加工～樹脂被覆の工程を連続にでき、生産性を低下させずに FeLuce® を製造している。

Abstract

FeLuce™ expresses the texture of metal regardless of the decorative layer such as laminate. In this paper, we describe how to express the texture of metal and how to add a hairline in FeLuce™. In order to maintain the texture of the metal, it was considered important to suppress the dissociation between the impression of the base material shape and the impression of the resin surface due to glare. FeLuce™ developed based on this guidance was excellent in metal texture. Hairline processing was applied by introducing a hairline processing facility into the electro galvanizing line. As a result, we can series produce the process of plating-hairline processing-resin coating. We can also produce steel plate with a hairline-like appearance without degrading productivity.

1. 緒 言

家電用途や建材用途を始めとして、鋼材を使用する際には様々な機能の付与を目的として樹脂被覆が施されている。付与される機能は耐食性や耐傷つき性や耐汚染性など様々だが、外装材などに使用される場合は意匠性が重要な機能の一つである。しかしながら、一般的に Zn 系めっき鋼板の意匠性は高くない。そのため、Zn 系めっき鋼板は塗装やラミネート等を施すことで、マーブル模様や木目模様などの種々多様な模様や白や黒などの美しい単一色調を付与して意匠性を高めている。

近年、自然派志向の高まりなどから素材そのものの質感が求められるようになった。例えば金属の素材感(金属感)を求められる用途では高価な SUS や AI などが一般的に採用されている。SUS や AI はその表面が強固な薄い酸化膜に覆われているため、意匠性を高める際にも多くの用途において塗装やラミネートなどの樹脂被覆を必要とせず素材

そのまま使用される。SUS や AI の意匠性を高める手段としては研磨加工、エンボス加工、陽極酸化および樹脂被覆などがある。研磨加工の中でも細かい線状の研磨模様を付与したヘアライン加工は輝度が高く高級感を備えているながら傷が目立ちにくいいため、広く使用されている。一方、SUS や AI であっても樹脂被覆を施した場合は往々にして金属感を喪失してしまう。

金属感を演出した製品は SUS や AI 以外にも様々にあるが、市場の要求を必ずしも満足できていない。SUS や AI と異なる素材を用いた場合は総じて本物には及ばないか、SUS や AI よりも安価だが依然高価である。金属調の外観を演出する最も一般的な手法としては AI フレックなどの光輝性顔料を分散させたシルバー塗装などが挙げられる^{1,2)}。しかし、質感の改善が近年進んでいるものの、ヘアラインなどの加飾部を表現することが難しい。また、ヘアラインなどの加飾を施したアルミ蒸着層などを備えるフィルムを貼付する方法は加飾部を表現できるが、高価である。

* 瀬戸内技術研究部 高機能鋼板研究室 表面処理研究課 主幹研究員 兵庫県姫路市広畑区富士町 1 〒 671-1188

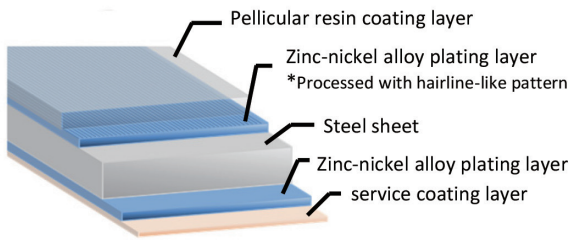


図1 FeLuce®の被膜構成
Coating structure of FeLuce™

そこで我々はZn系めっき鋼板に直接加飾し、水系塗料を用いた薄膜の特殊皮膜を被覆したヘアライン調電気めっき鋼板“FeLuce®”を開発した(図1)。この“FeLuce®”はプロダクトに求められる機能性と金属感を両立したことを認められ、2020年度のGood Design賞を受賞している。

本稿ではFeLuce®の特徴である金属感の表現に関する検討ならびにヘアライン付与方法に関する検討と、FeLuce®の製品特性について述べる。

2. 金属感の表現

2.1 金属感評価方法と輝度測定方法

FeLuce®の開発に当たり、金属感の表現について検討した。本検討では透明な樹脂被覆をしたSUSでも金属感を維持している場合があることに着目し、B4仕上げのSUS304に#150砥粒でヘアラインを付与したものに種々条件でクリア塗装して金属感の評価と輝度の関係を調査した。金属感の評価方法は、表面処理研究従事者5名がそれぞれ官能評価で評点づけを行い、その合計を評価したサンプルの金属感評点とした。なお、評点通りの優劣はあるが、評点が15以上あれば十分な金属感を備えていた。輝度は図2に示す方法で暗室内にて27Wの光源の光を600mmの距離からサンプルに照射し、600mmの距離から輝度計(コニカミノルタ製:CS-150)で測定した。なお、反射光量を基準板で規格化した光沢度でも同様の結果が得られるが、本稿では実際の視感に近い輝度で評価している。

2.2 金属感とフリップフロップ性の関係

メタリック塗装などにおける金属感の強さの指標として用いられることがあるフリップフロップ性^{3,5)}を評価したが、透明な樹脂被覆をしたSUSの金属感の優劣との相関性は低かった。フリップフロップ性とは観察する角度によって色などが変わって見える現象、すなわち反射光強度が角度に依存して大きく変化する現象のことである。図3に、入射角を固定し、測定角を変化させて金属感の異なる樹脂被覆SUSのフリップフロップ性を評価した結果を示す。なお、この測定では光源をサンプル法線に対して -10° に固定し、測定角をサンプル法線から $+10^\circ \sim +85^\circ$ に変えて輝度を測定した。測定した全てのサンプルにおいて、正反射である $+10^\circ$ の輝度に対して $+20^\circ$ の輝度が1/10未満、 $+20^\circ$ の輝度

に対して $+70^\circ$ の輝度も1/10未満であり、測定角による輝度変化が大きかった。従って、今回測定したサンプルは全てフリップフロップ性が高く金属感が高いと言える。しかし、このようにフリップフロップ性が高い中でも金属感に優劣があることから、 $+10^\circ$ の輝度に対する $+85^\circ$ の輝度の比をフリップフロップ性の指標とし、金属感の評点と比較した結果を図4に示すが、この指標と金属感評点との相関性は低かった。従って、透明な樹脂被覆をしたSUSの金

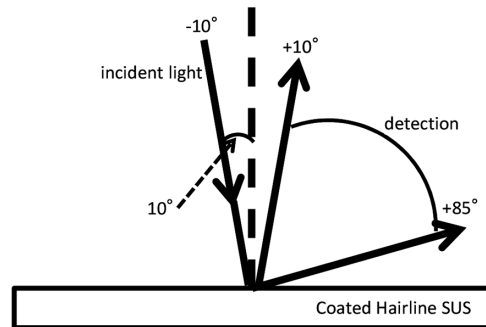


図2 輝度の変角測定方法
Variable angle luminance measurement method

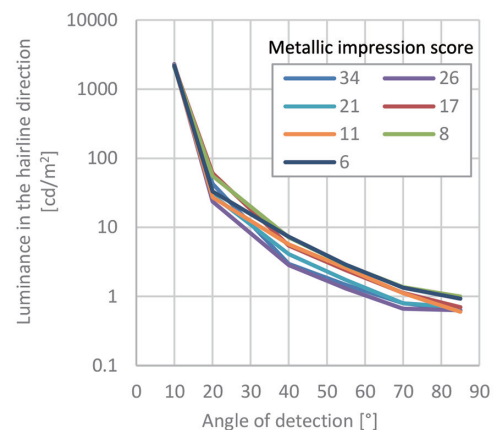


図3 ヘアライン方向輝度と測定角の関係
Relation between luminance in the hairline direction and detection angle

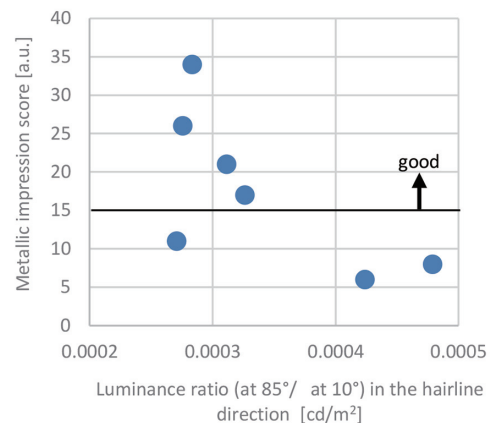


図4 ヘアライン方向輝度比と金属感評点の関係
Relation between Δ luminance in the hairline direction and metallic impression score

属感はフリップフロップ性では評価できないと考えられる。

2.3 金属感と正反射輝度の関係

次に、ヘアラインの方向に照射角 60° 、測定角 60° で測定した正反射輝度と金属感評点との関係を図 5 に、ヘアラインと直交方向に照射角 60° 、測定角 60° で測定した正反射輝度と金属感評点との関係を図 6 に示す。ヘアライン方向の正反射輝度と金属感評点には正の相関が認められるものの、ばらつきが大きい。一方、ヘアライン直交方向の正反射輝度と金属感評点は非常に良い相関が得られた。

このようにヘアライン方向とヘアライン直交方向で輝度と金属感指標の相関性に差が認められたことから、透明な樹脂皮膜を被覆したヘアライン SUS ではヘアライン模様の存在とその見え方が金属感に影響していると考えられる。ヘアライン SUS において、ヘアライン方向は研磨によって凹凸が低減された方向のため、光の散乱は少ない。一方、ヘアライン直交方向はヘアラインによる凹凸が付与されているため、光は強く散乱される。このような表面に塗装で樹脂を被覆した場合を考える。塗装に使用する塗料は液体のため、基材に塗布されるとレベリング効果によってその塗液表面は基材の粗度よりも平滑となり、焼付後の樹脂表面も基材の粗度よりも平滑となる。そのため、樹脂被覆前から研磨によって平滑となっていたヘアライン方向は基材表面と樹脂被覆表面の形状との差が小さいが、ヘアラインによる凹凸のあるヘアライン直交方向は基材表面と樹脂被覆表面の形状との差が大きくなる。その結果、映り込みなどに対する基材の形状から受ける印象と樹脂表面の印象が乖離する。この乖離が小さいと樹脂被覆の存在を認識できないため金属感を損なわず、乖離が大きくなると樹脂被覆の存在を認識できるようになるため金属感を損なうと考えられる。本知見を踏まえて FeLuce® の皮膜条件を決定した。

この指針に基づき、ヘアライン直交方向の輝度を規格化して FeLuce® を評価した結果を図 7 に示す。図 6 ではヘアライン直交方向の正反射輝度のみで金属感と相関しているが、基材の種類が変わった場合には比較が難しい。そのため、ヘアライン直交方向の正反射輝度をヘアライン方向の正反射輝度で除すことで規格化した。これにより、全面のうねりなどヘアライン付与前の基材の表面状態による影響を低減できる。更に、前節の樹脂被覆表面と基材表面の印象の差が金属感に強く影響しているとの考えに基づき、樹脂被覆後の値から樹脂被覆前の値の差分をとることで規格化した。この規格化後のヘアライン直交方向の正反射輝度と金属感評点は非常に良い一致を示しており、FeLuce® が高い金属感を備えることを確認できた。

3. FeLuce® のヘアライン付与方法

FeLuce® は防錆性能を担保する電気 Zn-Ni 合金めっき層に電気めっきラインで直接ヘアライン加工を施すというこ

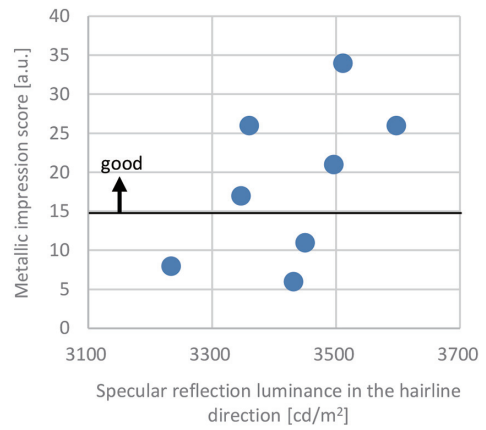


図 5 ヘアライン方向正反射輝度と金属感評点の関係
Relation between specular reflection luminance in the hairline direction and metallic impression score

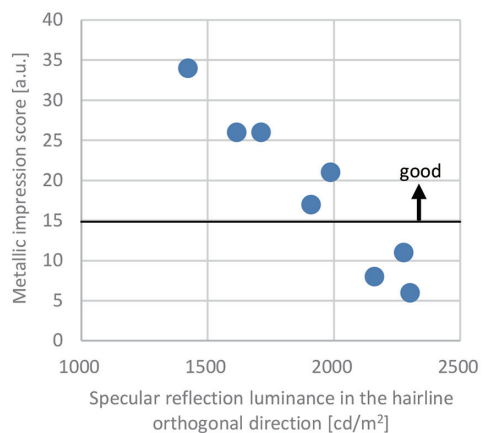


図 6 ヘアライン直交方向正反射輝度と金属感評点の関係
Relation between specular reflection luminance in the hairline orthogonal direction and metallic impression score

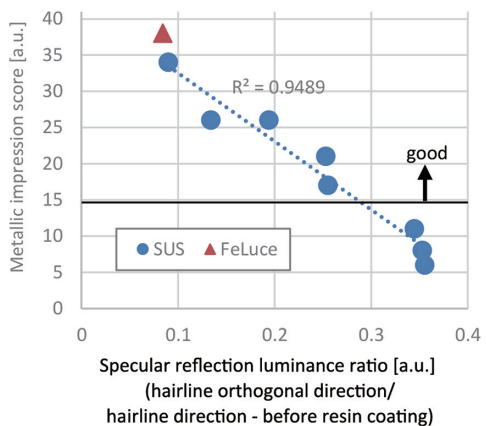


図 7 規格化後のヘアライン直交方向の正反射輝度と金属感評点との関係

Relation between standardized specular reflection luminance in the hairline orthogonal direction and metallic impression score

れまでにない製法によって金属の輝度感を発現させたものである。電気めっき層の付着量は通常 $10 \sim 40 \text{ g/m}^2$ であり、厚みに換算すると約 $1.4 \sim 6.6 \mu\text{m}$ となる。このように電気

めっき層は非常に薄いため、加飾ツールの条件によって研削過多になりやすく、図8(a)に示すようにめっきの一部が消失しやすい。図8はヘアライン加工後のZn-Niめっき鋼板についてEPMAでZn強度をマッピングしたものである。Zn系めっきは犠牲防食能に優れるため、めっきの一部が消失して鋼素地が露出したとしても鋼材を保護できるが、鋼素地の露出面積が大きくなるとガルバニック腐食が進行しやすくなり耐食性が低下する。そのため、これまでめっき層に直接ヘアラインを付与せず、防錆性能と無関係のラミネート加飾層などにヘアラインを付与してきた。

量産化に際しては電気めっきラインでFeLuce®製造が完結する体制を整えた。電気めっきラインでヘアライン加工する場合、従来のヘアライン研磨装置では生産性が大きく低下する。そのため、高速での研削に実績のある研削ブラシ設備をベースに検討を重ねた。研削ブラシ設備の検討では研削ブラシ仕様や研削条件を調整し、鋼素地が露出しない加工量でありながらヘアラインの密度と均一性に優れる条件を見出した。この研削ブラシ設備を電気めっきラインの電気めっき設備後～塗装設備前のセクションに導入することによりZn-Ni合金電気めっき～ヘアライン加工～樹脂被覆までを電気めっきラインで生産性を低下させずに連続的に製造することが可能となった。

研削ブラシ設備を導入した電気めっきラインで製造したヘアライン加工Zn-Ni合金めっきについてEPMAでZn強度をマッピングした結果を図8(b)に、外観写真を図9に

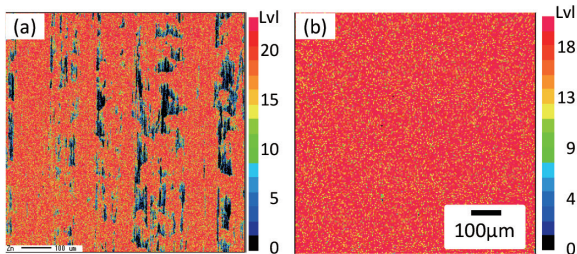


図8 ヘアライン加工後のZn-NiめっきのEPMAマッピングZn像 (a) 研削過多条件材, (b) EGL加工材
EPMA Zn mapping of Zn-Ni plating after hairline processing
(a) Excessive grinding, (b) Processed in EGL



図9 電気めっきラインで製造したヘアライン加工Zn-Niめっきの外観
Appearance of hairline-processed Zn-Ni plating manufactured on an electroplating line

示す。図8(b)に示すように観察面全面からZnが検出されていることから、FeLuce®の製造方法で鋼素地が露出していないことがわかる。

4. FeLuce®の製品特性

FeLuce®は高い金属感を保ちつつ諸性能を満足させるため、薄膜樹脂皮膜を備えている。金属感の表現には樹脂被覆の薄膜化が有利だが、諸性能の向上には厚膜化が有利である。この相反する課題を解決するため、薄膜でも諸性能を満足できる樹脂皮膜を新規に開発した。更に、この薄膜樹脂皮膜を着色せずに金属感を追求したSilverと、薄膜樹脂皮膜を着色することでヘアライン調意匠と金属感を維持したまま黒色化したBlackの2種類のカラーバリエーションを開発した。これらの性能の一例として耐指紋性と耐薬品性を評価し、加工例を示した。なお、性能評価の比較材には金属の素材感を求める用途で一般的に採用されるSUS304およびAl(A1050)の無塗装のものを用いた。

耐指紋性を評価した結果を図10に示す。耐指紋性は20℃の5mass%ワセリンに5秒間浸漬し、浸漬前後の色差 ΔE で評価した。無塗装のSUS304やAlは ΔE が3.0以上と大きく変化したが、FeLuce®はSilver, Black共に ΔE が2.0未満と目視での判別が困難な程度の変化しか見られなかった。

耐薬品性を評価した結果を図11に示す。耐薬品性は20℃の1mass%NaOHに24hr浸漬し、外観変化の有無を評価した。Alは消失した一方、SUSとFeLuce®は変化が認められず耐薬品性が良好なことを確認できた。

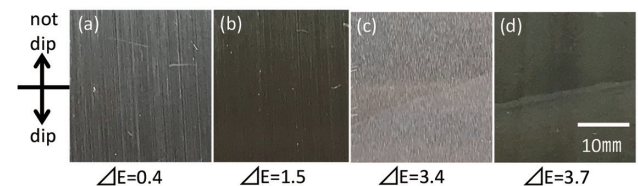


図10 耐指紋性試験後外観
(a) FeLuce® Silver, (b) FeLuce® Black, (c) SUS304, (d) Al(A1050)
Appearance of samples after fingerprint resistance test
(a) FeLuce™ Silver, (b) FeLuce™ Black, (c) SUS304, (d) Al(A1050)

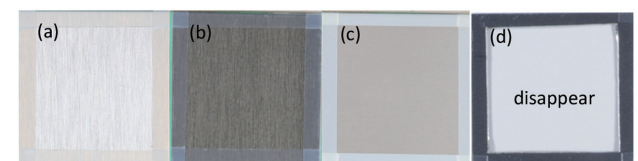


図11 耐薬品性試験後外観
(a) FeLuce® Silver, (b) FeLuce® Black, (c) SUS304, (d) Al(A1050)
Appearance of samples after chemical resistance test
(a) FeLuce™ Silver, (b) FeLuce™ Black, (c) SUS304, (d) Al(A1050)

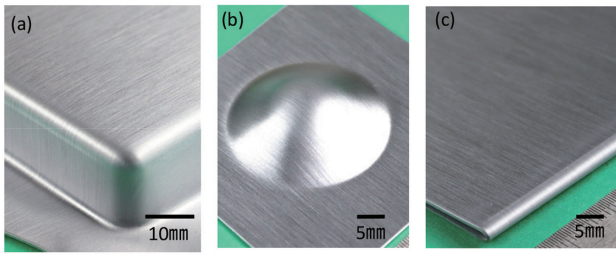


図 12 FeLuce® Silver の加工例
 (a) 角筒絞り成型, (b) 張出し成型, (c) ヘミング曲げ成型
 Example of processing FeLuce™ Silver
 (a) Drawing a rectangular shell, (b) Bulging, (c) Hemming

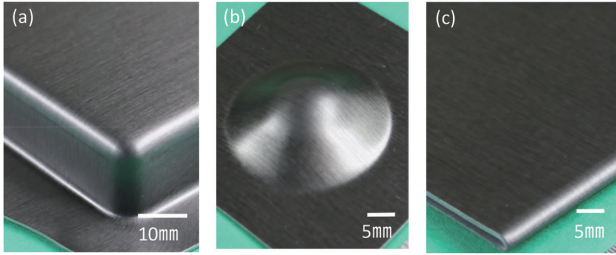


図 13 FeLuce® Black の加工例
 (a) 角筒絞り成型, (b) 張出し成型, (c) ヘミング曲げ成型
 Example of processing FeLuce™ Black
 (a) Drawing a rectangular shell, (b) Bulging, (c) Hemming

FeLuce® の Silver と Black それぞれの加工例を図 12 と図 13 に示す。加工には板厚 0.6mm の材料を用いた。角筒絞り成型では外形 R を 3.75mm, 絞り高さ 15mm となるように成型した。張出し加工ではエリクセン試験機を用い、張出し高さ 7mm となるように成型した。ヘミング曲げ加工では 1.2mm の材料を挟み、180° のつぶし曲げを実施した。絞り成型や張出し成型では加工の際の鋼材の流入や伸びの影響による歪みが認められるものの、Silver, Black 共に加工部のヘアラインは残存した。また、曲げ加工部の頭頂部も 2t 曲げでも目視で割れは確認されなかった。

以上のように FeLuce® は高い金属感を備えつつ優れた耐指紋性や耐薬品性および加工性を示した。

5. 結 言

本稿ではヘアライン調鋼板の開発に当たって最も重視した金属感の表現とヘアライン付与方法について述べ、FeLuce® の製品特性について紹介した。金属感の表現において樹脂を被覆した金属の場合、金属感の維持には映り込みなどに対する基材の形状から受ける印象と樹脂表面の印象の乖離を抑えることが重要であることを明らかにした。また、ヘアラインの付与では高速での研削に実績のある研削ブラシ設備で鋼素地の露出を回避しつつもヘアラインの密度と均一性に優れる条件を見出した。またその特性として、優れた耐指紋性や耐薬品性および加工性を示すことを確認した。

更に FeLuce® は Silver と Black という二つのカラーバリエーションだけではなく機能性のバリエーションとして抗ウイルス性を付与した製品も開発している。抗ウイルス性付与の詳細については別稿の抗ウイルス鋼板の内容を参照されたい。FeLuce® はめっき、ヘアライン付与、樹脂被覆を EGL で一貫製造しており無駄のない“ものづくり”を行っている。このようにデザイン面での可能性のみならず、近年の環境意識の高まりに対しても合致する製品であり、今後の適用拡大が期待できる。

謝 辞

FeLuce® の開発に当たり、(株)ATSUHIKO YONEDA DESIGN 代表取締役の米田充彦氏にはデザインや質感について多数の貴重なご意見を頂きました。厚く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 野村英治, 平山徹: 塗料の研究. 132, 22 (1999)
- 2) 瀧口慶子, 尾和克美: 日新製鋼技報. 99, 72 (2018)
- 3) 坂本正志, 奥田晴夫, 二又秀雄, 服部雅一: 色材. 67 (10), 632 (1994)
- 4) 川口洋一, 高橋輝好, 山長伸: 塗料の研究. 145, 14 (2006)
- 5) 館和幸: 色材協会誌. 80 (8), 329 (2007)



二葉敬士 Takashi FUTABA
瀬戸内技術研究部 高機能鋼板研究室
表面処理研究課 主幹研究員
兵庫県姫路市広畑区富士町1 〒671-1188



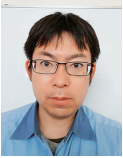
久米くるみ Kurumi KUME
瀬戸内製鉄所 品質管理部 薄板管理室
冷め管理課



柴尾史生 Fumio SHIBAO
鉄鋼研究所 表面処理研究部
高機能処理研究室 研究第二課長



春田恵利 Keitoshi HARUTA
薄板事業部 薄板営業部 薄板商品技術室
部長代理



上杉幸弘 Yukihiro UESUGI
瀬戸内製鉄所 設備部
プロセス技術室 薄板プロセス技術課長



田中勇樹 Yuki TANAKA
薄板事業部 薄板技術部 薄板管理室
冷め家電建材管理課 上席主幹



横道拓哉 Takuya YOKOMICHI
瀬戸内製鉄所 薄板部
冷延めっき技術室 めっき技術課
主査