

## アジア太平洋地域の各国で創製された鉄鋼材料の諸特性

### Several Properties of Ferrous Materials Manufactured in Asia and Pacific Area

酒井 孝\*  
Takashi Sakai

#### **Abstract**

Half of the sheet metal processing machines manufactured in Japan are exported throughout the Asia Pacific and other regions. The reality, however, is that locally purchased low-cost, poor-quality metal materials are used at overseas factories that have introduced such machinery. Consequently, the processing accuracy stated in machinery catalogs cannot be achieved. Moreover, the characteristics of each lot and roll of materials are known to differ even in the same country and that mechanical properties indicate a wide distribution of variance even within a single specified size. Such inconsistency affects the accuracy of secondary processing. Inconsistency in sheet thickness, for instance, is regarded as one cause of unstable spring-back. Although spring-back supposedly relies on the material rigidity, the sheet rigidity is proportional to the cube of the sheet thickness. Therefore, the effect of even a slight inconsistency in sheet thickness on the difference in rigidity becomes substantial. At the site of secondary processing, however, inconsistency at the stage of material production remains unclear. Some understanding of the situation is applicable to the processing stage and is likely to facilitate the manufacture of products with higher precision.

In this study, therefore, procures SPCC materials that are often used in sheet metal processing from several countries in the Asia Pacific region, with the intention of investigating their properties and comparing their characteristics and tendencies by country. Based on those results, the effects on the accuracy of secondary processing are considered.

---

\* 成蹊大学理工学部准教授、Associate Professor, Faculty of Science and Engineering, Seikei University  
E-mail: sakai@st.seikei.ac.jp

## I. はじめに<sup>1</sup>

国内で製造された板金用工作機械は、アジア太平洋地区をはじめとした諸外国に輸出される。その工作機械を導入した海外の工場では、現地で調達した安価で粗悪な金属材料が使用されている。この結果、工作機械のカタログ値通りの加工精度が得られていない。この一方、一つの国内においてもロット・ロールごとに諸特性は異なり、さらに1枚の定尺内でも機械的性質はばらつきの分布を持つことがわかっている。これらは二次加工精度に影響を及ぼすとされている。例えば、板厚のばらつきはスプリングバックの原因の一つとされている。スプリングバックは材料の剛性に依存するとされているが、板の剛性は板厚の3乗に比例するため、板厚のばらつきは小さくとも剛性のばらつきに与える影響は大きい。本研究における材料調達国である、日本、中国、タイは板金の基となる粗鋼の生産量が多く、これらの国々の材料は多くの加工現場に流出していると考えられる。

二次加工の現場では、材料製造段階における諸特性のばらつきを把握していないという現状がある。その状況を把握する事ができれば、加工時に適応させることができ、より高精度な製品を生み出すことが可能となる。

そこで本研究では、板金加工現場で多く使用されているSPCC材をアジア太平洋地域の数カ国から調達し、諸特性の調査、および国別の特徴や傾向の比較を目的とした。これらの結果から、二次加工精度に及ぼす影響についても調査した。

## II. 供試材

供試材として、日本、中国、タイの3カ国で製造されたSPCC材を用いた。SPCC材について、JIS規格（日本工業規格）における化学成分を表1に示す。また、本実験で使用した素材および寸法を表2に示す。1枚のSPCC板をシャーリングで均等に12等分し、その後各板材に対して各種の実験を行うものとした。試験項目は、板厚測定、硬さ試験、EDS成分分析、引張試験であり、それぞれの結果に対して標準偏差の値を用いることで国別のばらつきを調査した。

表1 SPCC材の化学成分 (mass%)

C	Mn	P	S	Fe
≤ 0.12	≤ 0.50	≤ 0.04	≤ 0.045	Bal.

表2 材料のメーカーおよび寸法

名 称	寸法 (a×b×t×枚数)
中国A社	1320mm×1000mm×0.75mm×1枚
中国B社	1470mm×1000mm×0.7mm×1枚
中国C社	925mm×1000mm×1.0mm×1枚
日本D社	1200mm×900mm×1.2mm×1枚
タイE社	1128mm×250mm×1.4mm×1枚

<sup>1</sup> 本稿の研究はアジア太平洋研究センターのパイロットプロジェクトによる助成を受けて行われたものである。ここに謝意を表す。

### III. 実験方法

(株)ミットヨ製のデジタルマイクロメーターによって板厚測定を行った。さらにこれを(株)ミットヨ製の接続ケーブルと測定データ入力ユニットを取り付け、データ値を直接ノートPCに取り込んだ。

(株)アカシ製のマイクロビッカース硬さ試験機 (HM-115) を用いて硬さ測定を行った。ノブ表示は圧痕の対角線を一番判断しやすいHV0.5とし、保持時間は10sとした。また、圧痕の大きさや形に過度なばらつきが見られなかったため、表面研磨は行わずに試験した。

日本電子(株)製のフィールドエミッションタイプの走査型電子顕微鏡 (FE-SEM : Field Emission-Scanning Electron Microscope) と、日本電子(株)製のエネルギー分散型X線分析装置 (EDS : Energy Dispersive X-ray Spectrometer) を用いて成分分析を行った。Feと、鉄鋼を構成する主要5元素であるC、Mn、P、S、Si、さらには一般的に不純物とされるAlを観察し、定量分析によって成分調査を行った。この調査を行うにあたり、12等分したSPCC板から10mm×10mmの金属片をシャーリングで切り出した。測定値のばらつきを少なくするために、金属片表面の研磨が必要となる。その研磨を行うにあたり、金属片の樹脂埋めを行った。樹脂埋めでは導電性テックピット5000を使用し、液と銅粉を20ml : 23.5gの割合で作製した。機械研磨では、(株)マルトー社製の卓上型研磨機 (ML-180) を使用し、エメリーペーパー、バフの2種類によって研磨を行った。湿式研磨は#800、#1000、#1500、#2000番の順で行い、これに続けて $Al_2O_3$ を用いたバフ研磨は1.0  $\mu m$ 、0.3  $\mu m$ の順で研磨を行った。

引張試験を行う準備として、それぞれのブロックからRD (Rolling Direction) 方向に対して0°、45°、90°の試験片をワイヤーカット放電加工機によって切り出した。引張試験片の寸法は、材料の形状や大きさによって異なり、これはJIS規格によって定められている。本研究の供試材は板材であり板厚が3mm以下であることから、JIS規格に則り13B号試験片を採用した。弾性域のひずみはひずみゲージから得た。引張試験では(株)前川試験機製作所社製のコンピュータ計測制御式全自動500kN万能試験機に、(株)共和電業製の引張圧縮両用型ロードセル (LUK-A-50kNSA1) を取り付けて実験を行った。塑性域のひずみを求めるために、エムティエスジャパン(株)製のモデル632.31F-24マルチゲージ長伸び計を試験片に装着した。変位、荷重、ひずみ、およびロードセルからの荷重のデジタルデータを取るために、(株)共和電業製のセンサインタフェースを使用した。電圧測定用PCD-320A、ひずみ測定用PCD-300A、ロードセルおよび伸び計からの電圧測定用PCD-320Aを使用した。測定には共和電業製の測定ソフトウェアPCD-30Aを使用した。

### IV. 実験結果および考察

#### 1. 板厚のばらつき

図1は板内における公称板厚からの差を濃淡で分けて示した図であり、色が濃くなるにつれて差が大きくなっている。括弧内の値は各材料の公称板厚である。また、表3にこのばらつきに対する標準偏差を示した。材料特性は板内においてばらつきが少ない、つまり標準偏差が小さい方が加工時に扱いやすいことになる。

中国A社、B社、C社の板厚のばらつきに特徴は見られなかったが、日本D社は上下の圧延方向に対して一定のばらつきが見られた。また、実板厚は全て公称板厚より小さいことがわかった。標準偏差に関しては中国B社が0.002と比較的小さくなっているが、国に関係なくほぼ0.006に

なることがわかった。しかしJIS規格において、板厚の許容差は板厚と板幅の大きさによって決められており、本研究で使用した材料の許容差は±0.08mm～±0.110mmであるため、この値と比較すると全ての材料においてばらつきは許容範囲内と見なされる。また板厚に関して、板幅方向と圧延方向の最大のばらつきを比べると、板幅方向の方が0.3%～1.0%大きいことがわかった。

さらに、この板厚のばらつきが二次加工精度に及ぼす影響を板の曲げ剛性を例にとって考える。この剛性Dは、 $D = \frac{E \cdot t^3}{12(1 - \nu^2)}$ の式で表されるため、板厚のばらつきは少なくとも、曲げ剛性においてはその影響が3乗になって表れることがわかる。

表3 板厚分布のばらつきに対する標準偏差

中国A社	中国B社	中国C社	日本D社	タイE社
0.006	0.002	0.006	0.006	0.006

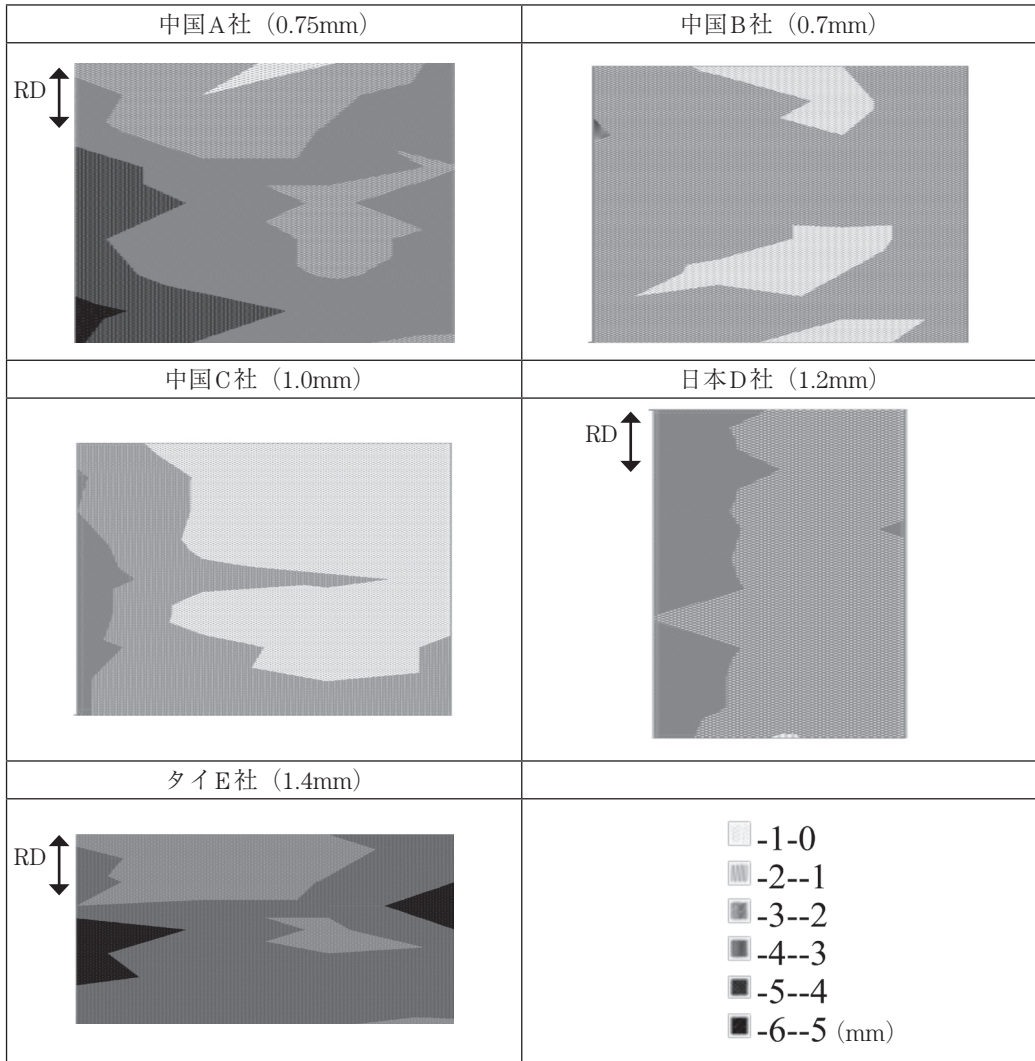


図1 板厚分布のばらつき

## 2. 硬さ試験のばらつき

図2は板内における硬さ分布のばらつきを濃淡で分けて示した図であり、色が濃くなるにつれて硬さの値が高くなっている。また、表4に標準偏差を示す。硬さに関して、中国B社のばらつきが最も大きく11.5%であった。

表4 硬さ試験結果のばらつきに対する標準偏差

中国A社	中国B社	中国C社	日本D社	タイE社
8.85	11.5	6.98	8.95	8.56

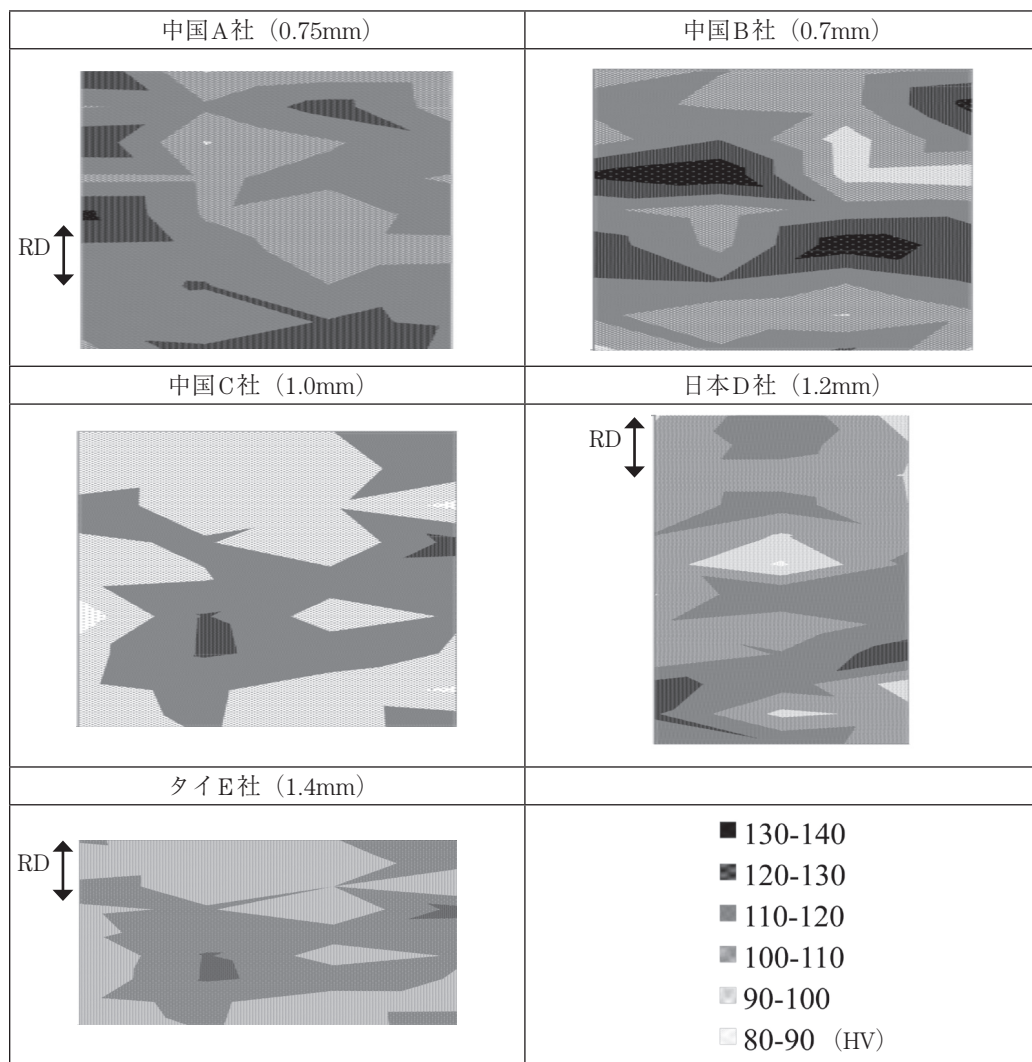


図2 硬さ分布のばらつき



### 3. 成分分析結果のばらつき

板内における各成分のばらつきについて、表5に各成分の標準偏差を示す。今回のEDS測定では、全ての元素においてSPCC材に対するJIS規格よりも大きな値を示したが、材料間の相対比較にこの結果は役立つと考えられる。

Mn分布では、中国各社とタイE社は色の濃淡の様相が類似していたが、日本D社は全体が比較的薄い色になっている。つまり日本D社に比べて、中国各社やタイE社の方が全体的に多くMnを含有していることがわかった。また、日本D社のMnに関しては、中央部から端部に向かうにつれて成分量が多くなる結果を示した。SPCC材において、この材料を構成する主要5元素のうちMnのみが唯一人為的に添加されているため、この傾向は国別の特徴をよく表すものであると考える。表5より、Mnの標準偏差は中国各社が0.040～0.080、日本D社が0.120、タイE社が0.070であり、日本D社のものは中国各社およびタイE社と比較して2倍程度のばらつきがあった。

またSi分布において、日本D社は中央部に多く分布し、端部へいくにつれて徐々に少なくなっていく傾向を示した。

日本は主にオーストラリアやブラジルから輸入された鉄鉱石を用いて鉄鋼材料の生産を行っている。一方、中国ではほとんどが中国で採掘された鉄鉱石を使用しており、鉄鉱石の生産国による違いが成分に与える影響が大きいと推測する。

表5 成分分析結果のばらつきに対する標準偏差

	中国A社	中国B社	中国C社	日本D社	タイE社
Mn	0.040	0.080	0.050	0.120	0.070
Si	0.012	0.008	0.018	0.017	0.010
C	0.079	0.086	0.069	0.077	0.071
P	0.079	0.086	0.069	0.077	0.077
S	0.007	0.012	0.012	0.011	0.005
Al	0.015	0.011	0.016	0.011	0.012

### 4. 引張試験結果のばらつき

板内における引張強さのばらつきについて、RD方向に対して0°、45°、90°に沿って切り取った試験片に対する結果の標準偏差について表6に示す。引張強さに関して、中国A社はばらつきが少ないという傾向が伺えた。

V曲げに必要な加工力Pは、 $P=(C_1 \cdot B \cdot t^2 \cdot T_s) \cdot L$ で表され、板厚と引張強さが影響する。そこで先述の板厚のばらつきと、今回示した引張強さのばらつきを重ね合わせ、二次加工精度においてどのように影響を及ぼすかを図3にまとめた。図より、板幅方向にばらつきが見られ、この傾向は板厚のばらつきの特徴と類似するため、曲げ加工力は板厚のばらつきが支配的であることがわかった。

表6 引張強さのばらつきに対する標準偏差

	中国A社	中国B社	中国C社	日本D社	タイE社
0°	0.73	2.51	2.39	2.98	2.55
45°	1.68	5.24	2.30	3.38	4.26
90°	0.87	3.90	4.10	0.70	3.98

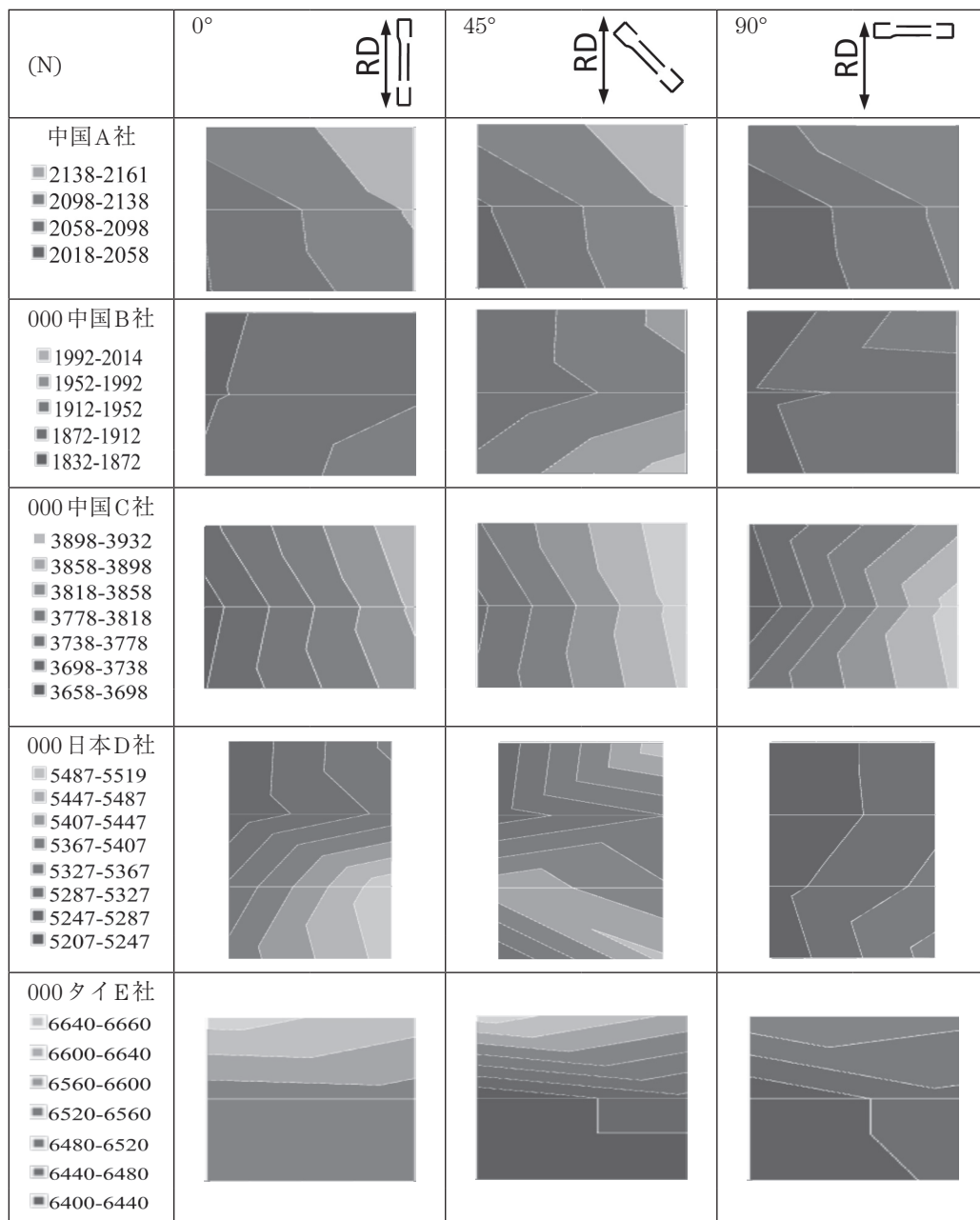


図3 V曲げ加工力の分布

## V. まとめ

- (1) 板厚のばらつきに関して、板幅方向と圧延方向の最大のばらつきを比べると、板幅方向の方が0.3%～1.0%大きいことがわかった。
- (2) 硬さのばらつきに関して、中国B社のばらつきが11.5%と多かった。

- (3) EDSによる成分分析結果に関して、Siは板の中央部に多く、端部へ行くに従い少なくなるという分布を示した。
- (4) 同じくEDSによる成分分析結果に関して、Mnは日本D社が、中国A社、中国B社、中国C社およびタイE社に比べて0.08～0.15%含有量が少なかった。Mnは人為的に添加される元素であるため、この傾向は工程における国ごとの違いをよく表しているものと考えられる。
- (5) 引張強さに関して、中国A社はばらつきが少ないという傾向が伺えた。

## 参考文献

- 奥野嘉雄 2006年 「中国における鉄鋼生産の見通しと高炉の動向」、『新日鐵技報』第384号。
- 長井寿・守谷英明 2013年 『アジアから鉄を変える』、東京：東洋書店。
- 渡辺義見・三浦博巳・三浦誠司・渡邊千尋 2010年 『図でよくわかる機械材料学』、東京：コロナ社。