

## 冷間ロール成形技術について

大阪大学工学部冶金学科教授 加藤 健 三

## 1. 冷間ロール成形とは

ロールによる金属板の冷間成形法としては、広い意味では、ロール引抜き法またはローラーダイス法、3本ロールによる曲げロール法なども含まれるが、狭い意味では、いわゆる冷間ロール成形法を指している。

冷間ロール成形は、欧米ではCold Roll Forming, Band-profilwalzung などとよばれており、わが国でもロール・フォーミング、冷間ロール成形などとよばれる。

冷間ロール成形は、図1に示すように、1列にタンデム状に並んだ数组の成形ロールに連続的に金属帯板を通して、順次成形加工を行ない、平板から目的の断面形状に仕上げる塑性加工法であり、分類からいえば、曲げ加工の範囲にはいると考えてよい。

歴史的にみると、50年ほど以前から小規模には利用され始めたが、当時の成形機械はまことに貧弱なものであった。しかし、近年のホットストリップミル、コールドストリップミルなど帯板圧延設備の急速な発展によって優秀な帯板コイルが大量に得られるようになったため帯板を素材として使用しながら各種の断面材を量産する冷間ロール成形法が技術および設備の両面

で急速な進歩を示し、量産される帯板コイルの二次加工としての性格だけでなく、従来の熱間圧延や押し出し加工法よりも経済的な型材や管材などを生産することによって、人々から注目されるようになった。とくにアメリカおよびイギリスにおいては、第二次大戦以前から工業的検討が加えられ、鋼管、プレハブ用構造材、さらに簡易飛行場のためのランディングマット（土地の上に直接並べて滑走路をつくるための構造板）、航空機部材などの製造に利用された。戦後はさらに Yoder, Tishken, McKay, Bethlehem Steel, National Tube, Republic Steel, Kane & Roach, Torrance などが、各種の機械や製品、すなわち、軽量構造材、サッシュ材、パイプ材などを生産し、住宅、倉庫、学校、体育館、店舗、家具、垣根、塔、自動車、自転車、航空機、車輛、ガードレール、その他、化粧材などに広く使用されている。

わが国では以前から電縫管、自転車リム、シャッター、サッシュなどの製造に一部利用されてきたが、昭和32年に建築構造用冷間成形軽量形鋼の JIS が制定されて以来、中之島製鋼（現、日鉄エコノ）、日本鋼管、富士製鉄（現、新日鉄）、川崎製鉄、中山製鋼所などの鉄鋼関係で軽量形鋼の量産が始まり、プレハブ建築用材などの使用量も急速に伸び、昭和35年年産22万 ton が昭和44年年産140万 ton に達するに至った。

電縫鋼管はわが国でも20年以上の歴史をもっており、富士三機、日本鋼管、住友金属、日本パイプ、東芝鋼管、丸一鋼管などのパイプメーカーで生産が行なわれるが、ストリップミルによるホットコイルの量産および電気抵抗溶接や誘導溶接などの溶接法の発達により急速に進歩し、図2に示すように全鋼管生産に占める溶接鋼管の比率は昭和26年に30%程度であったもの

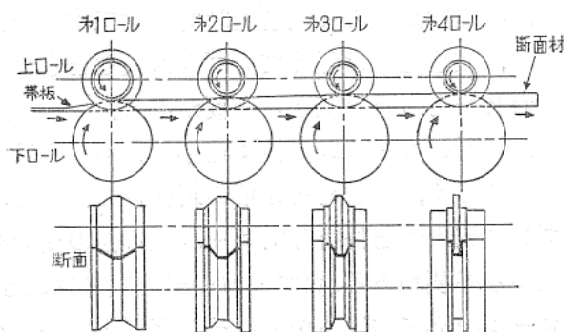


図1 冷間ロール成形法

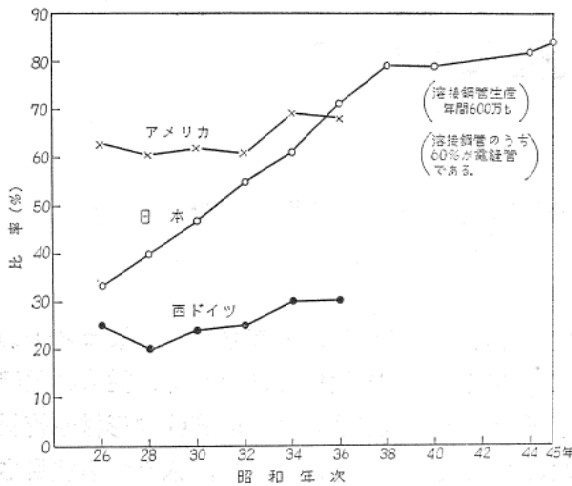


図2 日本における溶接鋼管生産の全鋼管生産に対する比率

が昭和45年には80%を越えるに至り、しかも、その溶接鋼管の60%が冷間ロール成形法による電縫鋼管であることを考えると本加工技術の重要性が想像されよう。図2を見て興味を感ずるのは、昭和28年から昭和38年にかけての10年間に直線的な増加が見られ、継目無し鋼管の多い西ドイツタイプから溶接管の多いアメリカタイプに移行していることで、この10年間は、わが国におけるホットコイル生産の急増の時であったことを思えば、全く同じ傾向であることにおどろく次第である。現在、電縫方式により、普通鋼管のみならず、ステンレス管、さらにアルミニウム管も生産されている。

その他、わが国では、電気冷蔵庫外板、自転車リム、どろよけ、自動車用バンパーおよび窓サッシュ、住宅用サッシュ、シャッター扉、ガードレール、シートパイル、デッキプレート、フェンスなどがかなり大量に生産されている(図3)。

冷間ロール成形法の特徴は、

- ①同一断面形状の長尺品の量産に適していること、
- ②熱間加工材よりも表面性状が良好であること、
- ③連続ロール式で各ロールの仕事量が小さいこと、
- ④連続的にプレス機、溶接機などと組合せられること、

名称	断面
フラングシート	
シートパイル	
デッキプレート	
キーストンプレート	
軽量形鋼	
パネル	カーテンウォール  カーテンウォールコーナ  断熱・防音パネル 
窓枠・ドア部品	
機械部品	自動車メンバ  家具部品  エアコンディショナー部品 

図3 冷間ロール成形による各種断面形状

などである。

今後の技術上の問題点としては、

⑥高速成形：一定品種の生産については、1ラインで高速成形を行ない、コスト低減をはかる。ただし、成形速度(200 m/min以上)と同調させる切断機構および切断精度の問題を研究する必要がある。

⑦自動化・連続化：コンピュータ制御などをする以前に、まだまだ、自動化および他の加工設備との連続化の研究が不足している。とくに、特殊な形状の部品を連続的に加工するためには、成形速度は低くてもプレス機などとの組合わせをもっと研究する必要がある。

⑧材料のロール成形性：近年の材料革命はいちじるしく、複合材その他の新材質について、プレス成形性と併行してロール成形性の検討を進める必要がある。われわれの研究室では最近、ロール成形における製品のそり変形と材料のパウシンガー効果に関係あることを見出した。

## 2. 内外の技術動向

### 2.1 海外における技術研究

冷間ロール成形法の発展のためにもっとも力をつくしたのは、文献の上から見ると、Yoder Co.<sup>12)2)</sup>でとくにE.J. Vanderploeg\*は技師長としての豊富な経験にもとづいて多くの啓蒙的な報告<sup>5)6)10)13)39)55)</sup>を行ない、ロール穴型を深く広くして板を穴型内に十分に入れてロール肩で生ずるきずを防止する考え方、ロールピッチ径を穴型底にとる方法、したがって成形高さの大きな場合にはロールスリップが増大するので上下ロール回転数を変化させる方法、ガイド、シュー、ストレートナなどの補助装置の有効利用法、成形各段階の断面図形を重ねあわせてロール穴型の良否を判定するフラワ (flower) による穴型設計法などの実用技術の基礎を示した。

G. Sachs<sup>27)21)44)</sup>はアルミ合金やステンレス鋼について検討を加え、塑性加工法としての特色をまとめ、ロール引抜成形法と比較し、ロール成形法ではロールの摩擦により材料が前進するが引抜法ではロールの摩擦力は問題にならず、ロール径やロールすきまの問題はないことを示し、さらにロール成形の設計においてロールすきまはピッチ径の点で最小(板厚と等しくしてよい)にし、摩擦の大きくなる場所ではすきまを大きくとる方針を明らかにし、ロールでの材料のスリップを考えるとスタンドごとに0.5~1%のピッチ径増加を必要とすることを明らかにしている。曲げ方法としては、曲げ半径一定で曲げ弧を増加する方法はステンレス鋼の成形に適し、曲げ弧長さ一定で曲げ半径を順次減少させる方針はジュラルミンに適することを示した。さらに、アルミ合金の成形において最小曲げ半径に対する成形温度の影響を調査し、300°F程度まで温度を上げることにより曲げ半径を小さくすることができ、スプリングバックも減少することを示した。

\*Vanderploeg 氏と数年前、アメリカでお会いする機会に恵まれたが、そのときに彼はYoderに長年つくした功績により“Man of Yoder”の称号をおくられ、長期の有給休暇をあたえられた。

D.A. Johnston<sup>3)</sup>は電縫管製造につくした功績が大であり、ロール成形についても総括的なまとめを行なっている。

R.T. Angel<sup>4)</sup>はみぞ形断面の成形について帯板のエッジがロール成形機側面から見て直線的に立上がりながら成形が進行すると仮定して、成形高さ、成形長さ、スタンド間隔に関する関係式を求め、エッジの立上がり角は1°25'以内であれば成形が良好に行なわれることを示した。

E. Griffin<sup>14)</sup>はMetal Section Ltd.の技師長としてイギリスにおけるロール成形に触れ、スリッターを含めてロール成形の設備の検討を行ない、ロール成形で曲げ荷重から求めた値より大きな動力を必要とするのは摩擦に原因していることを示し、ロールピッチ径について理想的には断面主軸にあわせることが正しいがその場合はロール回転数をスタンドごとに変化させる必要がでてくるために、ロール穴型底にピッチ径をあわせる方が簡便になることを述べており、また、非対称断面では成形材のねじれやひずみが生じやすいので、これを防止するために変形の生じやすい方向と反対の力をロールからあたえるように設計する必要があることを示している。

H. Mäkelt<sup>15)</sup>は成形時の材料に対する曲げモーメントからロール荷重、ロールトルクを求めの方針を示し、また、ロックシーム管の成形ロール穴型を紹介した。

E. Kretzschmar<sup>17)</sup>は溶接棒用の小径管成形におけるロール荷重の実測および曲げ式にもとづく荷重計算式との比較、ロール動力の求め方などを示し、ロールと材料の間の摩擦係数にも触れている。

テテリン<sup>22)</sup>、パウロフ<sup>23)</sup>らは銅メッキした冷延鋼ストリップを用いるクラッドはんだ管の開発を進め、ロール穴型設計の計算方法を研究し、一連の成形ロールを製作した。

Y.A. Mednikov<sup>24)32)</sup>らは電縫管成形についてスクイーズロールと電極輪における成形圧力の実測および計算式を示し、また、フレツムーン溶接管における変形部長さの計算を行なっ

た。

A. Geleji<sup>25)</sup>は曲げにおける荷重計算式を用いてローラダイスでV形材を引抜く場合のロール荷重計算を行なった。

アレキサンドロワ<sup>26)</sup>、トリシエフスキーら<sup>27)</sup>はみぞ形断面、キーストンプレート、デッキプレートなどを成形する場合の成形荷重やロール穴型に対して実験的に検討を加えた。

G. Oehler<sup>30)</sup>は、プレス曲げ、折曲げと比較しながら、各種断面の成形についてロール成形法の分類を行なっている。

Y.F. Shevakinら<sup>41)</sup>およびR.R. Irving<sup>42)</sup>はソ連とアメリカのそれぞれの国におけるバイメタルによるステンレスクラッド管の成形に対して検討を加えている。

W. Cookson<sup>43)</sup>はCookson Sheet Metal Developments Ltd.の社長として、アルミニウムのリブつき板やデッキプレートの成形に対してCookson法を提案している。

I.S. Trishevskiiら<sup>48)51)52)53)62)</sup>はウクライナ金属科学研究所において各種の断面を成形するためのラインを試作し、打抜き加工との組合せ、亜鉛メッキ広幅材のコルゲート成形、溶接との組合せ、熱間成形、高分子被覆材の成形、成形後の熱処理による強化など広い範囲にわたって実験的検討を加えており、さらに、V形断面を熱間成形する場合のロール圧力とねじりモーメントに対して理論的検討を加え、また、広幅材のコルゲート成形に対して新しい方法を提案している。

D.I. Starchenkoら<sup>49)</sup>は潤滑の効果を検討し、無潤滑に比して成形荷重が8~12%減少すること、板厚が薄くなるほど摩擦力の占める割合が増加するので薄い材料では潤滑効果があがること、また、後の段階の方が成形荷重の減少に役立つことなどを示している。

A. Smart<sup>50)</sup>、F.C. Porter<sup>54)</sup>らは被覆材および亜鉛メッキ鋼板のロール成形に対して応用と将来性を述べている。

なお、最近、Metals Handbook<sup>74)</sup>にロール成形の経済的評価と精度のデータが紹介されている。

## 2.2 日本における技術研究

わが国では冷間ロール成形法について、第二次世界大戦以前には技術研究の報告を見ないが、戦後になってストリップミルの発達とともに昭和30年ごろから順次増加している。実際に、著者が理化学研究所黒田研究室で昭和24年ごろからロール成形の研究を始めたときには文献らしい文献もほとんどなく、戦後のこととして、アメリカンライブラリー(日比谷)などに行き、いろいろ苦労して見つけたことを今でもなつかしく思う。現在の情報化時代と比較すると、まことに雲泥の差である。東京工大室田忠雄教授がプレス技術5巻11号の特集で述べておられるように、冷間ロール成形の変形過程に対して系統的な研究を始めたのは理化学研究所のわれわれが最初であったようで、少ない知識でプレス便覧<sup>70)</sup>のロール成形の項を担当せざるを得なかった。

黒田、加藤<sup>8)9)</sup>はミゾ形断面の鋼製ピストンリングをつくるためにロール成形を応用し、導入ロール2組、成形ロール4組、コイルに巻くための曲げロール1組を有する小型ロール成形機を試作し、実験的検討を行なった。ひきつづいて、加藤<sup>18)19)28)31)68)70)</sup>はミゾ形断面や山形断面の成形についてプレスによるダイ曲げと比較し、ロールに接触した部分の横断面形状はダイ曲げと同様な変形過程をたどることを示すとともに、ダイ曲げとは異なって縦方向に伸縮を生ずるという現象をひずみ測定によって初めて明らかにした。さらに、圧力ピン法によるアングルロールにおける圧力分布測定、およびロール接触部の成形圧力とロール接触部に入る前の材料に要する圧力の比較を行ない、Stahl und Eisen誌<sup>43)</sup>に紹介された。

渡辺英世氏<sup>21)</sup>は建築用の新しいエキスパンド材をロール成形によって製造する開発研究を行ない、実用化を完了した。

山川俊夫氏<sup>33)</sup>はV形ロール成形について格子法により成形中に生ずる帯板のひずみを測定し、各繊維の縦方向のひずみ履歴を明らかにし、V形ロール成形における基本形として2種の変形様式(ねじれ形式と折れ曲がり形式)の

存在を指摘している。

馬場善禄氏<sup>34)</sup>は電縫鋼管の成形に関してエッジの縦ひずみをロールスタンドごとに測定し、管の直径、使用スタンド数、ロール外径とエッジストレッチの関係を検討した。

益田森治氏、室田忠雄氏、神馬敬氏ら<sup>35)36)38)</sup>は円管のロール成形におけるひずみと成形力に対して検討を加え、成形の第1段階において帯板から円弧状断面に成形する場合に板両面にひずみゲージをはりつけて、膜ひずみ(板厚中央面の伸縮ひずみ)と曲げひずみを分離して測定した。膜ひずみについては、板の中心線付近の縦繊維ははじめ縦方向に圧縮されてから引き伸ばされ、中心線とエッジの中間の縦繊維は反対に一度引き伸ばされてから縮められる。エッジの縦繊維ははじめ引き伸ばされてから縮められ、凹ロールになじむとまた引き伸ばされる。つまり、ロール出口ではエッジと中心線が伸び、その中間が縮む。したがって、ロール出口では各繊維の長さは等しくなると円筒面をつくると考えると、伸びているエッジと中心線は圧縮されることになり、この圧縮ひずみが過大になるとエッジの座屈を生ずることを示した。また、圧下力およびトルクについてはエネルギー法による計算を行ないトルクについては凸ロールより凹ロールに大きく生ずることを明らかにした。

生田目裕氏<sup>47)</sup>は円管成形のひずみ測定を行ない、帯板はロール穴型どおりには成形されず、ロールと未接触部があることを明らかにし、各スタンドについて変形の開始点から変形終了点にいたる変形領域を観測して、変形形状を解析し、エッジのひずみを求める式を提案している。

鈴木弘氏、木内学氏ら<sup>56)~65)</sup>は昭和43年ごろから積極的にタンデム式ロール成形における実験および解析的研究に取組み、円弧形断面、V形断面、台形断面などについて製品形状、成形荷重、成形トルクの検討を行っており、学術的研究として注目すべきものが多く、基礎的研究成果として近い将来、系統的なとりまとめが行なわれると考えられる。

戸田陽一氏ら<sup>75)</sup>はV形ロール成形、U形ロー

ル成形についてエネルギー法により、圧下力とトルクを計算している。

以上の各個研究とは別に、日本鉄鋼協会共同研究会鋼管部会では継目無管と並行して電縫管に関する共同研究を戦後から続けており、ロール穴型の分類や溶接法の進歩、および電縫管の問題点などについて鋼管部会報告<sup>71)72)</sup>が報告されており、わが国の電縫管技術の全ぼうを見渡すことができる。

なお、日刊工業新聞社発行のプレス技術誌が昭和39年<sup>37)</sup>、昭和42年<sup>46)</sup>、昭和45年<sup>66)</sup>の3回にわたって冷間ロール成形についての特集を行なっていることは技術研究促進のために大きく役立てられている。

最近、加藤<sup>75)</sup>が日刊工業新聞社から「冷間ロール成形」を出版したので、全体的な総括として御参考にしていただきたい。

#### 参考文献

- 1) C.M. Yoder : Sheet Metal Industries, Sept. (1945) 1578.
- 2) G. Sachs, G. Espey, G. Kasik: Trans. Am. Soc. for Metals, 37 (1946) 449.
- 3) D.A. Johnston : Tool Engineers Handbook (1949) 981.
- 4) R.T. Angel : Iron Age, Nov. 3 (1949) 83.
- 5) E.J. Vanderploeg: Product Engineering, 20 (1949) Sept. 134 [加藤訳: 塑性加工研究会資料, 5-21]
- 6) E.J. Vanderploeg: Steel, 126 (1950) Apr. 24, 81. Steel, 126(1950)May. 91.
- 7) G. Sachs: Principles and Methods of Sheet Metal Fabricating, (1951) 494.
- 8) 黒田正夫, 加藤健三: 理研報告, 27, 4 (1951) 285.
- 9) 黒田正夫, 加藤健三: 理研報告, 29, 5-6 (1953) 418  
M. Kuroda, K. Kato : la metallurgina italiana, XLVII, 1 (1955).
- 10) E.J. Vanderploeg: Tool Engineer, 31 (1953) Oct., 59.  
[加藤訳: 塑性加工研究会資料, 5-21]
- 11) International Nickel Co. : Forming of Austenitic Cr-Ni Stainless Steels, (1954).
- 12) Yoder Co.: Cold Roll Forming (1954).  
[加藤訳: 塑性加工研究会資料, 4-5]
- 13) E. I. Vanderploeg: Iron and Steel Engineer, 32 (1955) Oct., 76.
- 14) E. Griffin: J. Institute of Metals, 84 (1955-56) 181.

- 15) H. Mäkelt: Stahl und Eisen, 75, 12 (1955) 793.
- 16) 益田森治: 薄板の曲げ加工, 誠文堂新光社, (1958) 193.
- 17) E. Kretzschmar: Die Technik, 13, 7 (1958) 477.
- 18) 加藤健三: 日本金属学会誌, 22, 12 (1958) 270.
- 19) 加藤健三: 日本金属学会誌, 23, 1 (1959) 14.
- 20) W.G. Kirkland :Iron and Steel Engineer, (1959) 134.
- 21) 渡辺英世: 日本建築学会論文報告集, 63 (1959) 77.
- 22) テテリン, クリヤムキン, ムソリーナ: 圧延と鋼管圧延, 16 (1959) 241.
- 23) パウロフ, テテリン, クリヤムキン, ムソリーナ: 圧延と鋼管圧延, 16 (1959) 251.
- 24) Y.A. Mednikov, G.Y. Gun :Stal in English, May (1960) 355.
- 25) A. Geleji : Bildsame Formung der Metalle in Rechnung und Versuch, Akademie-Verlag GmbH, Berlin (1960).
- 26) アレクサンドロフ, ニコゾフ, ガメルシュテイン: Stal, 7 (1961) 618.
- 27) トリシェフスキ, ソロコ, クレパング: Stal, 9 (1961) 817.
- 28) 加藤健三: 日本鋼管技報, 21 (1961) 44.
- 29) 蝶名林正英, 中村久司: 住友金属, 13, 1 (1961) 78.
- 30) G. Oehler: Mitt. Forschungsgesellschaft Blechverarbeitung, 12/13 (1962) 165.
- 31) 加藤健三: NKK Technical Report Oversea, 1 (1963) 44.
- 32) Y.A. Mednikov :Stal in English, April (1963) 300.
- 33) 山川俊夫: 塑性と加工, 4, 35 (1963) 783.
- 34) 馬場善禄: 住友金属, 15, 2 (1963) 19.
- 35) 益田森治, 室田忠雄, 神馬敬ら: 日本機械学会誌, 67 (1964).
- 36) 益田森治, 室田忠雄, 神馬敬ら: 塑性と加工, 5, 43 (1964) 519.
- 37) 渡辺英世, 上野孝雄, 寺井新太郎, 加藤健三, 梅山貞男, 新井 潔, 山水賢蔵: プレス技術, 2, 7 (1964)
- 38) 益田森治, 室田忠雄, 神馬敬ら: 塑性と加工, 6, 54 (1965) 379.
- 39) E.J. Vanderploeg: Iron and Steel Engineer, (1965) 83.
- 40) B.Pocta: Neue Hütte, 10, 3 (1965) 156.
- 41) Y.F. Shevakin, V.I. Pasternak: Izvest. VUZ-chem. Met., 9 (1965) 103.
- 42) R.R. Irving :Iron Age, Dec. 2, (1965) 106.
- 43) 加藤健三: Stahl und Eisen, 85, 5 (1965).
- 44) W. Cookson: Sheet Metal Industries, Oct. (1966) 761.
- 45) G. Sachs, H.E. Voegeli :Principles and Methods of Sheet Metal Fabricating, (1966) 516.
- 46) 室田忠雄, 加藤健三, 生田目裕, 木下修作, 玉野敏隆: プレス技術, 5, 11 (1967) 6.
- 47) 生田目裕: 塑性と加工, 8, 82 (1967) 591.
- 48) I.S. Trishevskii: ら Stal in English , Jan. (1968) 38.
- 49) D.I. Starchenko ら Stal in English, Feb. (1968) 139.
- 50) A. Smart :Sheet Metal Industries, June (1968) 415.
- 51) I.S. Trishevskiiら: Stal in English, Aug. (1968) 661.
- 52) I.S. Trishevskiiら: Stal in English, Aug. (1968) 664.
- 53) I.S. Trishevskiiら: Stal in English, Oct. (1968) 859.
- 54) F.C. Porterら: Sheet Metal Industries, Aug. (1969) 415.
- 55) V. M. Shvartsら: Stal in English, Nov. (1969) 580.
- 56) 鈴木 弘, 木内 学, 中島 聡, 赤堀明夫: 塑性と加工, 10, 97 (1969) 102.
- 57) 鈴木 弘, 木内 学, 中島 聡, 赤堀明夫: 塑性と加工, 10, 98 (1969) 157.
- 58) 鈴木 弘, 木内 学, 中島 聡, 赤堀明夫: 塑性と加工, 10, 102 (1969) 494.
- 59) 鈴木弘, 木内学, 中島聡, 塑性と加工, 10, 104 (1969) 502.
- 60) 木内 学: 塑性と加工, 10, 104 (1969) 635.
- 61) 木内 学: 塑性と加工, 10, 104 (1969) 646.
- 62) I.S. Trishevskiiら: Stal in English, Mar. (1970) 228.
- 63) 鈴木 弘, 木内 学, 中島 聡, 市田山正昭: 塑性と加工, 11, 110 (1970) 202.
- 64) 鈴木 弘, 木内 学, 中島 聡, 市田山正昭: 塑性と加工, 11, 112 (1970) 315.
- 65) 鈴木 弘, 木内 学, 木村 紘: 塑性と加工, 11, 112 (1970) 343.
- 66) 吉川 洗, 中山邦弘, 越智恒男, 黒瀬義宜, 松本 充, 水野建司, 梅田匡由, 富丘典義, 新谷英男, プレス技術, 8, 9 (1970)
- 67) 紀田兼昭, 井田和充: 非削加工, 1, 2 (1970) 89.
- 68) 加藤健三, 斎藤好弘, 藤田米章: 第21回塑性加工連合講演会講演論文集, (1970) 87.
- 69) E.J. Vanderploeg: Tool Engineers Handbook (Cold Roll Forming の項) (新版). (1959)
- 70) 加藤健三: プレス便覧 (冷間圧延成形の項) 塑性加工研究会, 丸善.
- 71) 原田芳: 鉄と鋼, 49, 11 (1963) 1714.
- 72) 原田芳: 鉄と鋼, 53, 6 (1967) 641.
- 73) 戸田陽一ら: 鉄と鋼, 51, 11 (1965)
- 74) American Soc. for Metals: Metals Handbook (1969) (Vol. 4, Forming).
- 75) 加藤健三: 冷間ロール成形, (1971), 日刊工業新聞社.