

一橋大学 GCOE プログラム
「日本企業のイノベーション—実証経営学の教育研究拠点」
大河内賞ケース研究プロジェクト

中田製作所
高機能造管成形機の開発と実用化

積田淳史
藤原雅俊

2010 年 9 月

CASE#10-10

本ケースは、一橋大学グローバル COE プログラム「日本企業のイノベーション—実証経営学の教育研究拠点」から経費の支給を受けて進められている、「大河内賞ケース研究プロジェクト」の研究成果のひとつである。このプロジェクトは、大河内賞を受賞した業績について事例分析を行うもので、(財)大河内記念会と受賞企業のご協力をえながら、技術革新の概要やその開発過程、事業化の経緯や成果などを分析している。事例研究を積み重ねて、日本の主要なイノベーションのケース・データを蓄積するとともに、ケース横断的な比較分析を行い、日本企業のイノベーション活動の特徴や課題を探り出すことを目指している。なお、本プロジェクトを進めるに際して、(財)大河内記念会より多大なご支援・ご協力をいただいております、心よりお礼を申し上げます。

(プロジェクト活動の詳細については [http://www.iir.hit-u.ac.jp/iir-w3/reserch/GCOEokochiprize\(A\).html](http://www.iir.hit-u.ac.jp/iir-w3/reserch/GCOEokochiprize(A).html) を参照のこと)。

※本ケースの著作権は、筆者もしくは一橋大学イノベーション研究センターに帰属しています。本ケースに含まれる情報を、個人利用の範囲を超えて転載、もしくはコピーを行う場合には、一橋大学イノベーション研究センターによる事前の承諾が必要となりますので、以下までご連絡ください。

【連絡先】 一橋大学イノベーション研究センター研究支援室

TEL:042-580-8423 e-mail:chosa@iir.hit-u.ac.jp

株式会社中田製作所
「高機能造管成形機の開発と実用化」¹

2010年9月

一橋大学大学院商学研究科博士課程 積田淳史
京都産業大学経営学部 藤原雅俊^{**}

*〒603-8555 京都市北区上賀茂本山
masatosh@cc.kyoto-su.ac.jp

** Visiting Scholar
Asia Research Centre
Copenhagen Business School
Dalgas Have 15, DK-2000 Frederiksberg, Denmark
mfu.int@cbs.dk

¹ 本ケースは、一橋大学グローバル COE プログラム「日本企業のイノベーション：実証的経営学の教育研究拠点」からの経費を受けて進められている、「大河内賞ケース研究プロジェクト」の研究成果の1つである。ケースの作成にあたっては、以下の方々から多大なご支援をいただいた。心から感謝を申し上げたい。

株式会社中田製作所株式会社中田製作所
代表取締役社長 中田勉
取締役 相談役 滝口博司
取締役 技術統括 王飛舟
技術部係長 第2機械設計チーム 二ノ宮学
技術部係長 T&Dセンター 中野智康
技術部主任 尹紀龍

木内研究室 (KILAMETEC) 代表 東京大学名誉教授 木内学

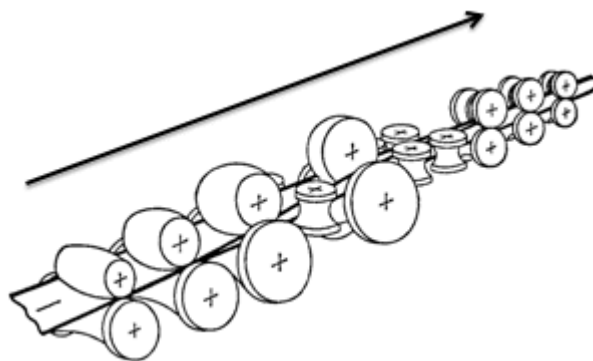
I. はじめに

我々の生活の至る所に、パイプが用いられている²。水道管や自動車用部品、建築用資材、あるいは石油パイプラインなど、例を挙げればきりが無いほどである。

パイプの造り方もまた多様であるが、その代表的なものにロール成形法がある。ロール成形法とは、平らな金属板をロール成形機（ミル）³と呼ばれる装置に通して丸めていき、最後に両端を溶接してパイプを完成させる方法である。こうしてできあがるパイプを、電縫鋼管（ERW：Electric-Resistance-Welded）と呼ぶ。丸めた金属板の両端を電气的に加熱・溶接して「縫い合わせる」からである。

ロール成形の過程は、図1に示される通りである。この図に沿って言えば、左下から右上へと金属板を通しながらロールで圧力をかけ、徐々に管状の形を作っていくのである。一見すれば簡単な装置のようにも思える。しかし、金属板は素材や厚さによって弾塑性⁴が異なるため、その成形は非常に難しく、奥深い。

図1 ロール成形法



出所：中田製作所提供資料（矢印筆者追記）。

電縫鋼管の製造を担うこのロール成形機の開発で、大阪の中小企業が平成21年度大河内記念生産特賞を受賞した。大阪市淀川区田川に本社を構える中田製作所である。大河内賞を受賞する企業には、やはり未だに大企業が多い。中小企業が受賞する場合も大企業との

² パイプとは、物体の輸送に用いる管を言う。その素材は、金属やプラスチック、コンクリートなどである。このうち本ケースで扱うのは鋼管と呼ばれる金属製のパイプである。また、鋼管の中にも電縫鋼管やシームレス鋼管など様々な種類があり、それぞれ素材や製造プロセスが異なる。本ケースでパイプと言った場合には、とくに注意書きの無い場合、ロール成形法で製造される電縫鋼管を指すものとする。

³ ロール成形機のことを、ミルという。大河内賞では、これを造管成形機と呼んでいる。いずれも、同じ機械の異なる名称である。

⁴ 弾性とは、金属に力を加えて変形させたときに、それに抵抗して元に戻ろうとする性質のことである。塑性とは、一定以上の力を加えたときに、その変形が永続する性質のことである。

共同受賞が多く、単独での受賞はごくわずかである。つまり中田製作所の単独受賞は、まづ快挙と言える。しかし本事例がより興味深いのは、彼らが開発した技術のユニークさにある。中田製作所は、IT を駆使して熟練の手作業を駆逐する技術を開発したのである。

一般に、中小企業の強みは卓絶した熟練の技にあると考えられがちである。個人に宿るノウハウであればこそ、資源に勝る大企業に模倣されずに済むからである。しかし、中田製作所は自ら積極的に熟練を IT で置き換えることで、すなわち、従来の熟練を必要としない方向へと研究開発を進めることで、世界でも屈指の技術力を身につけたのである。熟練職人の手作業が中小企業の強み、というステレオタイプ的な見方は、ここで覆される。

では、小さな機械工場から始まった中田製作所は、いったいどのようにして高度な技術力を身につけるに至ったのだろうか。100 年に及ぶ中田製作所の歴史的なプロセスを丁寧に追いながら、本ケースを進めて行くことにしたい。

II. 概要

1. 業界構造

パイプは我々の身近にある。しかしその業界は必ずしも身近とは言えない。そこで図 2 に従いながら、パイプに関わる業界概要をはじめに明らかにしておこう。

パイプ製造に関わる企業は、3 つにまず大別できる。1) 実際にパイプを作るパイプ・メーカー、2) パイプ・メーカーに原材料を供給する鉄鋼メーカー⁵、そして 3) パイプ・メーカーにパイプ製造装置を供給する装置メーカーである。中田製作所は、この最後のグループに分類される。

つづいて同社が属するパイプ製造装置業界を詳しく眺めよう。図 2 にあるように、パイプの製造プロセスは、1) 材料となるコイルを加工装置に挿入するエントリー・セクション、2) ロールを使って金属板を成形・溶接・採寸するミル・セクション、3) 成形されたパイプを切断するカットオフ・セクション、そして 4) 最終精製や検査を行うフィニッシング・セクションの 4 部によって構成されている。それぞれ使われる装置が異なるため、パイプ製造装置業界は、装置ごとにより細かく分類されていく⁶。

これら 4 つのセクションのうち、パイプの品質に最も大きな影響を与えるのはミル・セクションであり、その中でもミルと呼ばれる成形装置が心臓部にあたる。この装置を作る企業を、一般にミル・メーカーと呼んでいる。中田製作所は、パイプ製造装置業界の中でもこのミル・セクションを主戦場としている企業である。

ミルという装置もまた、その構成部品に応じて分類される。大きく分けて、ミルはロールとスタンドの 2 つの部位から構成される。ロールとは、金属の板をパイプに成形してい

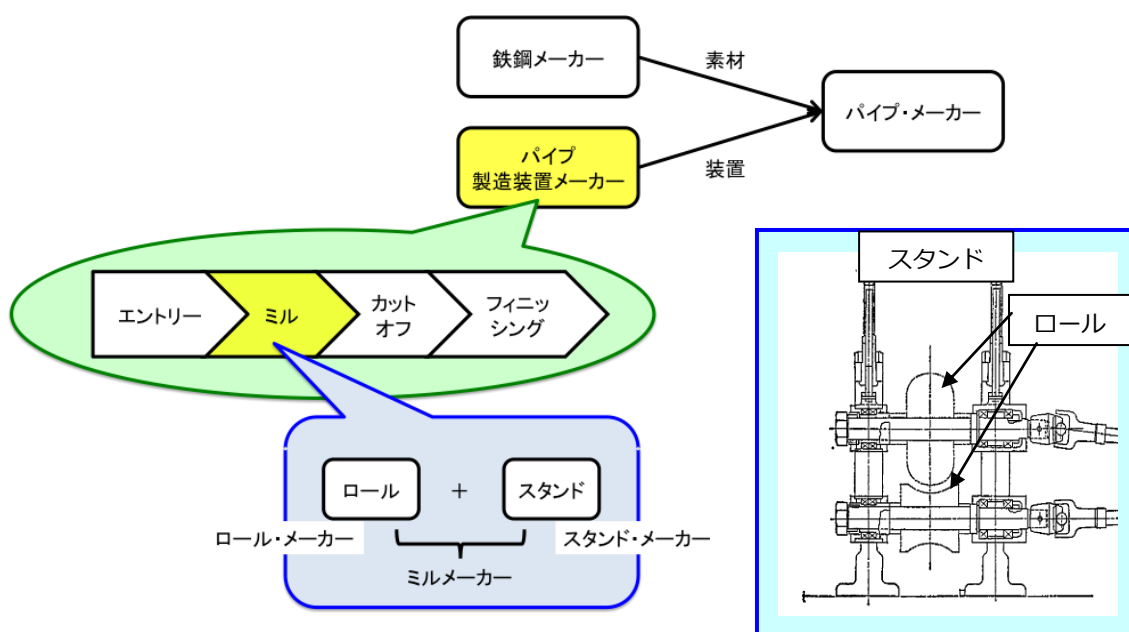
⁵ 鉄鋼メーカーは、ビレットや圧延コイル、厚板などの形でパイプの素材を提供する。

⁶ より詳しくは、本ケース末に記載した参考資料を参照。

く金型であり、パイプの精度に関わるミルの要とも呼べる部分である。スタンドとはロールを支える機械本体のことで、ロールを動かしたり、固定したりする役割を持つ。スタンドとロールの関係は、図2の右下に示される通りである。

ロールとスタンドは、同一企業が製造することもあれば、異なる企業が製造することもある。それらを区別するために、ロールとスタンドの両方を製造する企業をミル・メーカー、ロールのみを製造する企業をロール・メーカー、スタンドのみを製造する企業をスタンド・メーカーと呼び分けておこう⁷。これがパイプをめぐる大まかな業界概要である。

図2 業界構造



出所：中田製作所提供資料をもとに、筆者作成。

中田製作所は 1950 年代後半にロール成形機事業に着手したが、当時のごく小規模なミル・メーカーに過ぎなかった。ロールに関する技術力も高くなかったため、高度なロールは外部企業に発注し、スタンドのみを製造することもあったという。だが同社はあくまでロール製造をあきらめることなく技術力を高め、スタンド・メーカーとしてではなくミル・メーカーとして成長していった。

ミルを製造する企業をミル・メーカーと呼ぶことにしたが、ミル・メーカーにも様々な企業があることに注意する必要がある。一口にミル・メーカーといっても、その手がける装置には幅がある。一般的な水道管や機械部品用のパイプであれば、ミルは小規模で済む。

⁷ 実際には、スタンドのみを製造するメーカーもミル・メーカーと呼ばれている。しかし、本ケースではスタンド・メーカーと区別して呼ぶ。

一方、油井管やラインパイプ⁸を製造する設備は大規模であり、装置というよりはプラントと呼ぶほうが適切なほどである。現在の中田製作所は、小規模なミルはもちろん、大規模なミルやその他の装置の設計・製造からプラント全体の設計まで、幅広く事業を展開している総合的なミル・メーカーである。ロールを外注に頼ることもあった小規模なミル・メーカーは、いかにして成長したのか。ではその歴史を概観していこう。

2. 企業概要

中田製作所は、1908年に中田常吉が神戸で創業してから100年以上の長い歴史を持つ企業である。売上高39億円、従業員数約50名（いずれも2010年3月時点）と、一般の定義に従えば決して大きいとは言えないが、ミルに関しては世界でも屈指の企業である。

創業当初は従業員5人の小さな会社であったが、線路用信号機や線路用機械の生産を中心に、国鉄（現、JR）の拡大とともに中田製作所も成長していった。戦前・戦後を通じて国鉄は拡大の一途をたどっており、それに伴って中田製作所の事業も経済的には安定していた。しかしながら、二代目社長中田常好の跡を継いで1958年に三代目社長となった中田正信の頃より、中田製作所は信号機事業以外に目を向けるようになった。四代目社長である中田勉によれば、技術者としての野心が路線を変更させた理由であるという。

こういうところ（信号機の作成等）での物づくりはどうしても限界があって、ちょっと物足りなさというものがありました。先代が「一般の仕事も手がけていかなきゃいけない」というようなことを考えておりました、（中略）いくつかのプロジェクトがあったのですが、そのうちのロール成形、あるいはパイプというところが、グローバルな展開をしていかなきゃいけないということで選んだわけです⁹。

この路線変更を受けて、中田製作所は1959年よりロール成形機に取り組み始め、1968年に本格的に事業をスタートする。着手以来50年にわたるロール成形機事業の中で、中田製作所は2つの大きなイノベーションを生み出し、現在の地位を築き上げた。1987年に完成したFFミル(Flexible Forming Mill)と、1998年に完成したFFXミル(Flexible Forming Excellent Mill)である。いずれも、旧世代機に求められた熟練依存から脱却することを可能にしたことで、その名を歴史に留めている。FFXミルは、その後もソフト面・ハード面で進化を重ね、平成21年度大河内記念生産特賞を獲得するに至るのである。

FFXミルは、同社に受賞をもたらしただけではなく、事業成果としても非常に重要な意

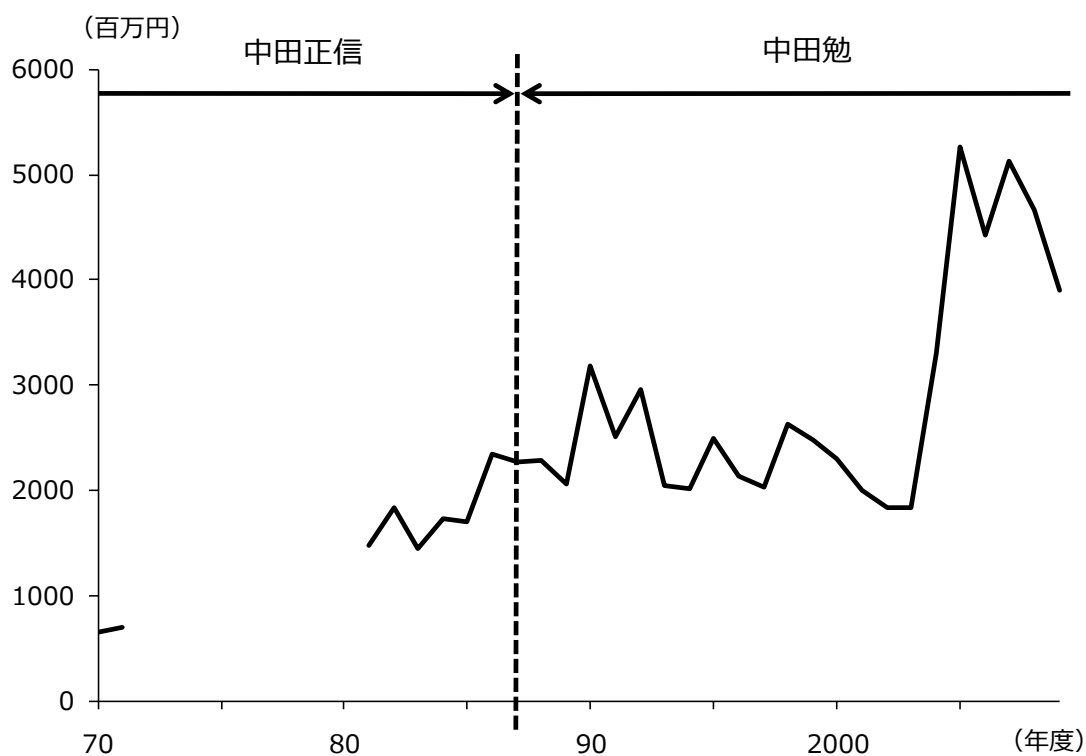
⁸ 油井管とは、石油掘削などに用いるパイプを指す。ラインパイプとは、原油や天然ガスの輸送に用いるパイプを指す。

⁹ 講演会（中田勉：2010年6月17日）。括弧内筆者追記。

義をもたらしてくれている。図3は、中田製作所の売上高の推移を示した図である。同社の売上高が2003年度を境に一気に跳ね上がっていることがわかるだろう。FFXミルの開発と事業化が同社に与えた恩恵の大きさが明確にわかる。

これは、決して市場規模が急拡大したという追い風を受けたからではない。それを確認するには、業界全体の規模推移を確認する必要があるが、中田製作所の事業は複数領域にまたがっているため、どの産業に従事しているかを厳密に定義することは難しい。そこで、間接的ではあるが、ここではロール成形法で製造される電縫鋼管と呼ばれる製品市場全体の動きを見ておこう。図4は、各製法別の生産量推移を示した図である。中田製作所が属する電縫鋼管市場の規模が決して急拡大しているわけでないことが見て取れる。では、FFXミルにはいったいどのような特徴と優位性があり、受賞対象となったのであろうか。

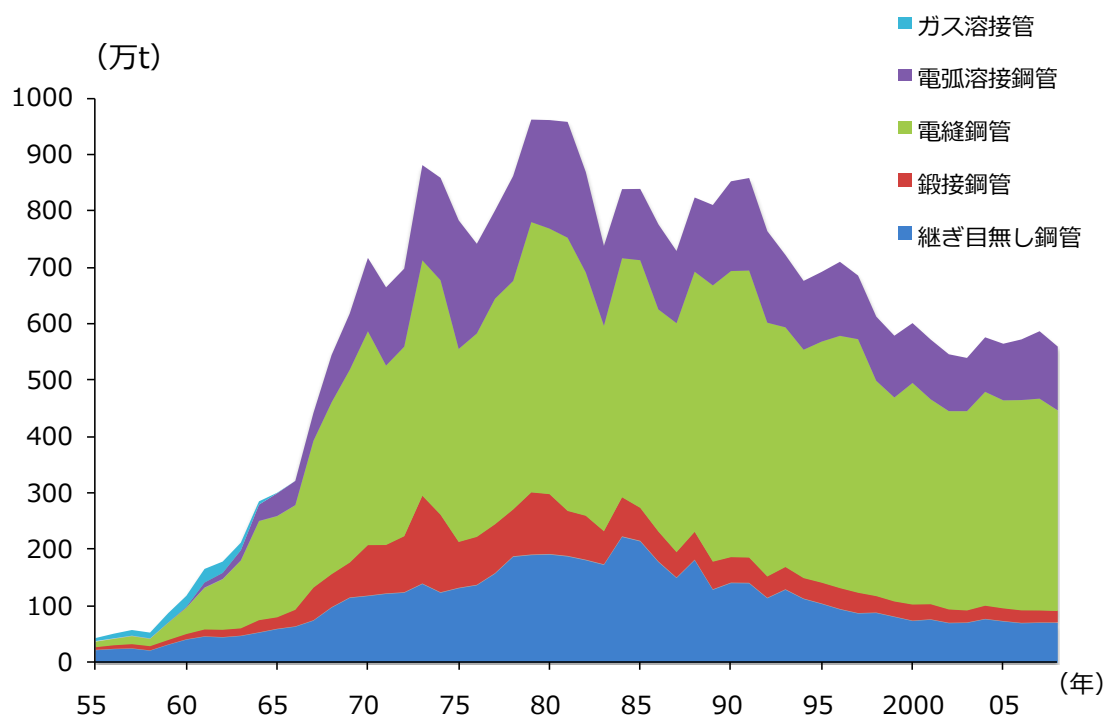
図3 売上高の推移



出所：中田製作所提供資料。

注1：1971年度～1980年度については、データ欠落。

図4 普通鋼熱間鋼管の製法別生産量の推移



出所：通商産業大臣官房調査統計部編『鉄鋼統計年報』（1952-53年版、1953～1962年版、1965～1999年版）、日本鉄鋼連盟『製鉄業参考資料』（1963～1964年版）、経済産業省『鉄鋼統計年報』（2000～2001年版）、経済産業省『鉄鋼・非鉄金属・金属製品統計年報』（2002年版～2007版）

受賞時の資料によれば、そのポイントは3つであった¹⁰。1) 従来方式とは異なる新たな成形方式を導入した、2) 特殊なロールを利用することで高精度成形を実現した、3) 独自のシミュレーション技術によりロール位置の自動調整を可能にした、という点である。だが、これだけではFFXミルの何が優れているかは理解しづらい。そこで、ミルの歴史を振り返りながら、FFミルおよびFFXミルの特徴と優位性を説明していこう。

3. ミルの技術略史¹¹

ミル（ロール成形機）は、電縫鋼管製造プロセスの中の、金属板を管状に成型するための装置である。ミルの技術進歩は、電縫鋼管の技術的な進歩と歩みをともにしている。電縫鋼管の品質向上によって需要が拡大・多様化していく中で、ミルに課された課題も時と共に変化していった。ミルはその時々々の課題を克服しながら、今の形を迎えている。ここ

¹⁰ 「受賞業績【大河内記念生産特賞】」 http://www.okochi.or.jp/hp/gyoseki56_2.html (2010年8月14日確認)

¹¹ より詳しくは、本ケース末に記載した補論を参照。

では、電縫鋼管の技術的な基礎が完成するまでの 1920 年代～50 年代を第一世代、成形精度向上と生産コスト抑制のトレードオフに取り組んだ 1960 年代～1990 年代前半を第二世代、熟練職人への依存からの脱却を図った 1990 年代後半から現在に至るまでを第三世代と分類し、技術史の概略を追っていこう。各世代の特徴と流れは表 1 のようにまとめられる。

表 1 ミルの技術的変遷

		名称	ロール構造	成形技術基盤
第一世代	20～50年代	コンベンショナル・ミル	交換	経験的
第二世代	60～90年代前半	ケージ型ミル (FFミル)	兼用	経験的
第三世代	90年代～	FFXミル	兼用	シミュレーション

出所：筆者作成。

ここで注目するのは、成形精度と、ロール交換・調整の負担である。ミルは、製造するパイプの品種が変化するごとに、ロールを交換するか、交換はしないまでもロールの位置を調整して、成形時の加圧を調整する必要がある。このロール交換・位置調整は、非常に負担の大きい作業であった。小さな装置ならともかく、10 インチを超えるようなパイプの製造装置はかなり大きい。そこに設置された巨大なロールを取り外し、付け替えるのだから、これは大変な重労働であると勉は言う。

(パイプ・メーカーでは) 製造現場でこの作業者をクビにしたいなど、辞めてもらいたいなどいったら、だいたいロール交換するセクションに持っていくんです。そうすると、だいたい嫌で辞めちゃうんです¹²。

パイプの品質に関わる成形精度の向上と、製造時の大きな負担であるロール交換・位置調整作業の軽減が、ミルの進歩の焦点になった。以下、それぞれの世代で2つの課題にいかに取り組みられてきたか、確認していくことにしよう。

第一世代のミルは、現在ではコンベンショナル・ミルと呼ばれている。ロール成形の基本的なプロセスは現在のものとはほぼ同じだが、成形精度は低く、ロール交換・位置調整作業も大きな負担であった。しかしながら、第一世代の頃はまだパイプの品種が少なく、交換・位置調整作業の頻度も多くなかったため、深刻な問題として顕在化することはなかった。そのため、成形精度の向上こそが、第二世代における技術開発の焦点となった。

第二世代のミルは、ケージ成形法によって成形精度を向上させると同時に、部分的にロール兼用化を目指すことでロール交換作業低減を目指すものであった。ケージ成形法とは、小さなロールを多数個配置して、金属板を少しずつ順次成形していく方式である。とくに

¹² 講演会 (中田勉：2010 年 6 月 17 日)。括弧内筆者追記。

大径・薄肉サイズでは、成形精度の向上に加えて設備コストの低減効果もあり、その普及に貢献した。ロールの兼用化とは、同じロールでいくつものサイズのパイプを製造できるように工夫することである。ロールが兼用化できれば、ロールを交換せず位置を調整だけで多数のサイズのパイプを製造できるため、ロール交換作業から解放される。これら2つが、第二世代のミルの共通の特徴である。中田製作所が開発したFFミルも、広くはこの世代に分類される。

初めにケージ成形法をミル全体に適用したのはトーランス社であるが、ヨーダー社はその構想をさらに改良し、1960年代に16インチ級の大径ケージミルを相継いで建設し、ケージ型ミルの主役となった。しかしながら、1960年代のケージ型ミルは成形機能の低いサイドロール¹³を成形の主役としていたため、想定された成形形状との乖離がおり易く、品質上の問題を内包していた^{14・15}。成形精度を向上させるために、各社それぞれ工夫・改良をこらしたケージ型ミルを発表したが、いずれも対応に弱点があった。というのも、ロールの兼用化と成形精度の向上には、良い成形を目指すともロール交換が増え、ロール交換を節減すると成形精度が悪くなるという裏腹の関係があったからである。1960年代・70年代と工業化が進むごとにパイプ需要が高品質化・多品種化するにつれて、このジレンマは、ますます深刻化していった。

他社がクラスタ部の技術開発に力を注ぐ中で、中田製作所だけはブレイクダウン部に注目した。それは、「他社製のケージ型ミルは、成形精度向上のためにまずクラスタ部（サイドロール機能）を強化して、そのままの流れでロール兼用化を進めたところに問題がある。成形精度を高めつつ兼用化するためには、ブレイクダウン部も含めて考案する必要がある」と考えたからであった。この問題意識に基づいて考案されたのが、1987年に発表されたFFミルである。FFミルは、ブレイクダウン部にインボリュート曲面ロール¹⁶を用いて、ブレ

¹³ 金属板を左右から均等の圧力で押し込むようにして、管状に成形するロール。

¹⁴ ミルは、1) ブレイクダウン＝金属板を強くプレスしおおよその形状を作る部位、2) クラスタ＝ブレイクダウン部でプレスされ曲げ形状の生じた金属板を左右から押し込むようにして管状に成形する部位、3) フィンパス＝形状・寸法・歪みなどを矯正する部位、の3部位に細分化できる。板をプレスするブレイクダウン部がロールも大きく加圧も最も強く、クラスタ部、フィンパス部と進むごとにロールは小さくなり加圧も弱まる。ケージ型ミルでは、サイドロールが用いられるクラスタ部が成形の主力であった。

¹⁵ より詳しくは、本ケース末に記載した参考資料を参照。

¹⁶ インボリュート曲面とは、インボリュート曲線を利用して描かれる曲面のこと。インボリュート曲線とは、円に巻き付けた糸をほどくときに糸が描く曲線のこと。円の中心部に近いほど糸が描く曲線の半径は小さく、中心部から離れるほど半径は大きくなる。直観的には、ひらがなの「の」の字をイメージすれば良い。文字の始点を中心と考えたとき、書き進めて行くにつれて半径が大きくなっていることがわかる。

実際には、以下の方法で描くことができる。糸巻きを卓上に固定し、そこに糸を巻き付け、糸の先端をペンに結びつける。糸が常に張った状態になるように糸をほどくと、はじめのうちは糸巻きのそばをペンが走るけれども、やがてどんどん糸巻きから離れた場所を走るようになる。すなわち、少しずつ半径が大きくなっていることがわかる。

ークダウン部の完全兼用化を実現した。この技術は、とくに品質管¹⁷を造るうえで大変優れた技術として評価され、本ケースの主たる記述対象である FFX ミル開発にあたって、主幹技術として活躍する。

しかし、この FF ミルもやがて限界に直面する。パイプの更なる高品質化・多品種化により要求される成形精度が高度化したことに加え、推し進めたロール兼用化が新たな問題を生起させたからである。新たな問題とは、ロール位置調整の熟練依存である。

第一世代までのミルでは、ロールのノウハウはパイプ・メーカーが保有するものであった。ロールとスタンドが完全に独立していたため、ミル・メーカーはユーザーであるパイプ・メーカーの希望通りにロールとスタンドを作れば、その後の運用は彼らの問題だった。ロールのノウハウは、ロールの大きさや曲面形状など設計仕様と、ロールの位置調整の2つに大別できる。ロールの設計仕様とロール位置の微妙な組み合わせによってパイプの品質は変化するが、この機微はパイプ・メーカーが学習するものであった。

しかし第二世代のケージ型ミルでは、ロールの兼用化に伴いロールとスタンドが部分的に一体化した。これにより、今度はミル・メーカーにもロールのノウハウが求められるようになったのである。中田製作所も、しばしばユーザーのロール位置調整を手伝うことになった。しかもこのロール位置調整は、中田製作所の人間ならば誰でもできるというのではなく、手でパイプを触りながら微妙にロール位置を調整するという、職人技の世界であった。

熟練を模倣されにくい希少な資源だと考えれば、これがミル・メーカー側の強みになるとも言える。しかし、もしその職人がいなくなれば、FF ミルのロール位置調整は誰にもできなくなり、FF ミルは売れなくなってしまう。そう考えれば、強みは弱みに転じる。中田製作所は熟練のノウハウをこのように弱みと捉え、FFX ミルを新たに開発したのである。

4. FFX ミルの特徴

先述した受賞業績の特徴に沿ってより詳しくいえば、中田製作所が開発した FFX ミルは、1) 成形方式の変更により成形精度を更に向上させ、2) 独自のロールおよびスタンドにより成形精度向上とロール数減少を実現し、3) 独自のシミュレータおよび自動設計ソフトによりロール調整を自動化した、という3つの特徴を有している。以下、それぞれの点について簡単に説明していこう。

第一に、成形方式の変更とは、従来のサーキュラーバンド方式からエッジバンド方式へと新たに切り替えたことを指す¹⁸。エッジバンド方式自体は古くからあり、成形精度はサーキュラーバンド方式より優れていると言われていた。しかしながら、エッジバンド方式は

¹⁷ 高い品質を要求されるパイプを品質管と呼ぶ。一方、厳密な品質は要求されないパイプを雑管と呼ぶ。

¹⁸ 詳しくはIV節3項を参照。

サーキュラーベンド方式よりもロール交換の負担が高かったため、一般的には採用されてこなかった。サーキュラーベンド方式であれば、パイプの肉厚が変わっても外径寸法が同じならロールは兼用化できたが、エッジベンド方式では肉厚が変わっただけでもロールを交換する必要があった。これをロール数の多いケージ型ミルで採用するとロールの交換・位置調整の負担が大きいため、実用性が乏しかったのである。FFX ミルでは、ロールの兼用化とロールの自動調節機能を活かすことで、エッジベンド方式がもたらす負担を回避することが可能であった。

第二に、独自のロールとは、ロールの曲面形状にインボリュート曲線を利用したことを指す。通常のロールは円形であり、どこでプレスしても同じ曲率になる。ところがインボリュート曲線を利用したロールであれば、ロールの場所によって曲率に変化が生じる。この曲面形状を採用することで、より広範囲のパイプ寸法・板厚・鋼種に適確に対応することが可能になった。

ロール曲面の変更は、ミルを構成するもうひとつの重要な部分である、スタンドの構成にも恩恵をもたらしている。脚注 11 に記したように、ミルはブレイクダウン部、クラスタ部、フィンパス部の 3 部で構成される。この 3 部に、溶接後の最終仕上げ成形を行うサイジング部を合わせた合計 4 部で、ロール成形が行われている。従来、一般的なケージ型ミルの主役は、クラスタ部であった。ブレイクダウン部はプレス方式であるから、当然、素板を両側から押し込むクラスタ部よりも成形精度は出しやすい。だがプレス方式であるがゆえに、金型（ロール）の形状がそのまま素板に加圧されるので、多品種生産への適応性が低下してしまう。そのため、ケージ型ミルではブレイクダウン部分の工程を少なくし、より適応力を出しやすいクラスタ部分を主力にして成形していた。

だがインボリュート曲線を援用した FFX ミルのロールは、クラスタ部分に依存せずとも多くの品種へ適用可能となる。その結果、より成形精度を出しやすいブレイクダウン部分をロール成形の主役にすることに成功している。つまり、「ロール兼用化」と「成形精度の向上」という従来相反する要因を、あわせて解決したのである。それに伴い、クラスタ部以降の工程数をも減らすことにも成功していった。この移り変わりは、表 2 に示される通りである。

表 2 スタンド構成の変化

	コンベンショナル	ケージ型ミル	FFミル	FFXミル
ブレイクダウン	4	2	4	5
クラスタ	5	多数	6	3
フィンパス	3	3~4	3	2
サイジング	3	3~4	3	2

太字はロール交換不要。

出所：中田製作所提供資料。

そして第三に、FFX ミル開発の影の主役となった独自のシミュレータ及び自動設計ソフトの概略を記しておこう¹⁹。独自のシミュレータとは、FEM を利用した三次元成形解析ソフトである。FEM 解析技術とは、成形する鋼種やロールの形状、位置をインプットして、どのようなパイプが完成するかをシミュレートするソフトウェアである。これによって、金属板がロールで加圧されながら管状に成形されていくプロセスが、高い精度でシミュレートされる。従来、ロール成形の良否はロール設計やロール位置調整を行う熟練作業者の経験に依存していたが、このシミュレータを活用することで、より科学的かつ定量的に最適なロール設計やロール位置調整を具現化できるようになった。

このシミュレータ用にモデルを構築し実行するのが、自動設計ソフトである。製造したいパイプのサイズや肉厚の範囲や鋼種を入力することで、最適なロール形状やロール構成が自動的に出力される。この2つのソフトウェアの組み合わせにより、1) ミルの生産段階で最適なロール設計を容易に得ることができ、加えて2) ユーザーが製造するパイプの品種を変更したときのロール位置調整の完全自動化が実現される、という2つのメリットが実現されている。

以上、FFX ミルは、前世代で問題であった成形精度、ロール数（ロール交換）、ロール位置調整という3つの課題をすべて同時にクリアした非常に優れた技術なのである。では、いったいこのFFX ミルはどのようにして開発されたのであろうか。ときは1970年代、中田製作所が造管成形事業を手がけて10年ほどが経った時期に戻っていこう。

III. FF ミルの開発

1. ケージ成形法と、外部からの学習

日本経済が高度成長期から安定成長期へ移り始めた1970年代、正信はある強い思いを胸に抱いていた。国鉄からの仕事は確かにありがたいものに違いなかった。しかし、いつまでもそこに安住しては今後の発展は見込めない、という強い思いである。ちょうどこの頃、1966年に入社した勉もまた同じ思いを抱いていた。すでに彼らは1968年からロール成形機事業を本格的に立ち上げてコンベンショナル・ミルを手がけてきてはいたものの、ロール成形を発展させて事業を大きく育てていくだけの知識や技術に欠けていた。中田製作所がロール成形機事業を発展させるうえで、何より足りなかったのが人材であった。ポイントは、外部からの招聘や学習にあった。

幸い、中田製作所の取引企業には、優れた知識をもつ企業が名を連ねていた。このうち、勉が通いつめたのが日本鋼管（現、JFE スティール）であった。板の曲げ方や溶接の方法といった、基本的なところからのスタートであった。日本鋼管との付き合いの中で非常に

¹⁹ 詳しくはIV節2項を参照。

重要だったことは、板を痛めない成形法としてケージ成形法（ケージフォーミング）があり、ケージをコンセプトとして追求すべきである、ということをお教えされたことにあった。

ケージ成形法とは、アメリカのトーランス社が提唱した成形法であり、その源流は1946年までさかのぼる。大手日本企業の住友金属もその技術導入を試みていたものの、実用化に対しては苦戦を続けていた。

これを解決するアイデアを出したのが、蔵本良助であった。蔵本は、1975年に日本引抜工業から中田製作所へと転職した人物である。日本引抜工業は中田製作所の取引先であり、蔵本はそこで技術部長を努めていたほどの存在であった。勉は、自らの事業構想を蔵本と語り、蔵本がそれに呼応して転職したのである。勉は蔵本と2人で日本鋼管へ行脚していた頃のことを次のように振り返る。

うちのお客さんのところの製造部長というか、技術部長だったんです。この男が私と技術の感覚が同一でしたから、それで意気投合したというか、「じゃあぜひ残りの人生を中田でやってくれないか」と言ったら、「やる」ということで来てくれたんですよね。（中略）

（蔵本も）優秀な男なんですけれども、やっぱり向こう（日本鋼管）の人は向こうの人で優秀なんですよね。それで（日本鋼管へ通う中で）2人、いろいろ叱られたり、「そんな考え方じゃダメだ」とか、それからメンタルテストなんかもやられて。向こうもやっぱり我々のことを気に入ってくれたんでしょね。「非常におかしな、中小企業の2人が来ておるな」と。「だけど面白いやつだ」ということで対応してくれたんじゃないかと思います。（中略）

やっぱりパイプは面白い、非常に奥が深いということと、これからまだまだ奥が深いものがあるな、ということをおつきあいさせて頂いた中で得られましたね。ということは、まだまだ我々のスペースがあると。ビジネスのスペースがあるということですね²⁰。

幸いなことに、この頃、同じく大手の川崎製鉄（現、JFE スティール）でもまたケージ成形法に注目し、ケージフォーミング研究会が立ち上がっていた。この研究会の話を聞きつけた蔵本と勉は、さっそくその研究会へも足を運び、約1年間にわたってケージ成形法の実用化に向けた取り組みを進めていった。技術を育んでいくのと同時に、彼らはいち早い実用化に向けて、市場調査にも乗り出していった。行き先は、三菱商事や伊藤忠といった重機械に強い大手商社。こうして、パイプに関する情報を積極的に収集していったのである。

²⁰ インタビュー（中田勉：2010年6月17日）。括弧内筆者追記。

中田製作所が進めた連携相手は、企業にとどまらなかった。同社は、以前から大阪大学の加藤健三研究室と連携していたのに加え、東京大学の生産技術研究所で塑性加工学を専門としていた木内学研究室とのつながりを新たに強めていったのである。きっかけは、1975年に塑性加工学会のなかで木内がロールフォーミング分科会を立ち上げたことにあった。勉はすぐさまその分科会に参加し、木内とのつながりを深めていったのである。ただしそのつながりは企業から研究室への委託研究といった公式的な形式はとっておらず、あくまで分科会やそのときどきの相談をベースにした非公式なものであった。

木内研究室とのつながりは、その後、中田製作所の運命を大きく左右することとなる。ただこのときの中田製作所としては、とにかくアンテナを高く張り巡らし、外部情報・知識をできるだけ早く多く吸収しようとしていたのであった。

2. FFミルの登場：ロール兼用化へ

蔵本の話に戻ろう。ロール交換の重労働を軽くすべく彼が出したアイデアは、次のようなものであった。インボリュート曲線のアイデアを応用してロールに異なる曲率半径を持たせたいと、さらにひとつひとつのロールを3次元で自由自在に動かしてロール成形を試みれば、パイプのサイズに応じてロールを交換することなく兼用できる、というものである。蔵本はこのアイデアを引っさげ、木内のもとへ、その実現可能性を相談しにいった。

相談を受けた木内は、議論を進めていくうちにその技術アイデアに強く魅かれていく。というのも、インボリュート曲線のアイデアも、ロールを3次元で自由自在に操るというアイデアも既に世の中では広く知られていたものであったが、双方を組み合わせれば、難しいロール成形ほどうまくいくようになる、という技術のポテンシャルの深さに思い至ったからである。蔵本のアイデアを、木内は次のように評価する。

インボリュート曲線を使うだけでは駄目なんです。同時に、ロールを自由に空間的に配置できるメカニズムを組み合わせることが不可欠です。ロールを動かすというアイデアは昔から皆持っていたわけです。誰でも、すぐ思いつくことですが、それとインボリュート曲線を組み合わせたところに、結果はともかく、アイデアとしての優れたところがあったわけです。(中略)

蔵本さんは、若いときから別の会社でパイプを造っていたんです。何十年かやってきて、途中から中田製作所に移ってきた人ですから、現場を良く知っていたんでしょうね。彼は非常に工夫する人だったから、自分なりにいろいろなことを考えながら、ひとつのアイデアにたどり着いたんだと思います²¹。

²¹ インタビュー（木内学：2010年7月26日）。

木内は、蔵本のアイデアを **FF (Flexible Forming)** と名付けて特許化することを中田製作所に強く勧めた。というのも、有力な国産技術を世界に発信することで国際学会や国際展示会における日本のプレゼンスを高めたい、とかねてから考えていたからである。ここにおいて、ロール兼用化ミルを商業展開しようとしていた中田製作所と、優れた国産技術を世界に発信したいという木内の思いが一致する。木内は、特許の要所、勘所を徹底的に指導し、技術者が見過ごしがちな点をひとつずつ潰していった。

これらの努力が実ったのは、1987年のことであった。日本アーム（現、日本ネットワークサポート）に **FF** ミルの第1号機を初めて納めたのである。もともと日本アームは、ドイツのマンネスマン社（現、**SMS** 社）とケージ成形法の可能性を真剣に議論していたところであった²²。しかし、その情報を聞きつけた中田製作所が日本アームへ打診して **FF** ミルのアイデアを伝え、一気に商談へと発展させていったのであった。この商談は1986年に初受注というかたちで実り、1987年に第1号機を納入していったのである。これが中田製作所における初めての **FF** ミル実績となった。

1987年という年は、**FF** ミル初納入というだけでなく、中田製作所の歴史のなかで大変印象深い年である。まず5月に勉が代表取締役社長に就任している。さらに9月には、ロール兼用化をめぐり、次のような偶然に出会うことになる。

同月、勉は、自社開発したロール兼用化ミルを **ITA (International Tube Association)** で学会発表するため、木内とともにフィラデルフィアを訪れる。このとき学会には、ドイツのマンネスマン社とオーストリアのフェイスト・アルピネ社（現、ジューメンス **VAI** 社）という2大ミル・メーカーもまた自社の成果を発表すべく集まっていた。

偶然にも、3社の発表内容はいずれもロール兼用化ミルだった。それだけロールの兼用化が業界で共有された開発目標だった、ということなのであろう。しかしそのなかで、中田の技術内容はマンネスマン社とフェイスト社をはるかに凌いでいたと木内は強調する。というのも、海外2社の方式がブレイクダウン部は従来のままケージ成形法をわずかに延長させたものであったのに対し、中田製作所の提案した方式はインボリュート曲面ロールによるブレイクダウン部の兼用化という非常に面白い方式だったからである。

つまり1987年という年は、まだよく名も知られていなかった大阪の中小企業たる中田製作所が、世界に名を轟かせていた2社を凌いだ年でもあったのだった。

FF ミルの登場は、パイプ・メーカーの熟練依存体質を2つの点で大きく変えた。まず、これまで述べてきたように、従来は製造するパイプの品種を変えるごとにロールを交換して位置を調整しなければならなかった。ロールの交換・調整は手作業であったので、ある品種に対して十分な成形精度が得られるロール位置をひとたび実現し、それを記録に残したとしても、全く同じロール位置を再現することは非常に困難であった。そのため、以前

²² 彼らが検討していたケージ成形法は、より詳しくは、ストレート・エッジ・フォーミング法である。

と全く同じパイプを造る際にも、最終的には熟練工の経験に頼らざるを得なかった。職人たちは、生産工程を流れるパイプを手で触って曲がり具合を判断しながら、ロール位置を調整した。しかしながら、FFミルはロール位置を機械的に数値制御するため、ひとたび記憶したロール位置を再現することは、容易であった。最初の一回は熟練に頼らざるを得ないにしても、二回目以降は機械に頼ればよかった。FFミルは、熟練依存からパイプ・メーカーを解放する一歩となったのである。

次に、サイズが大きく費用の高いブレイクダウン・ロールを完全兼用化したことにより、熟練工に依存する領域を狭めることになった。従来型のミルではブレイクダウン・ロールが交換の対象であったが、品種ごとに多数の専用ブレイクダウン・ロールを用意することはパイプ・メーカーにとって資金的負担が重かったため、近似寸法のパイプに対しては便宜的にロールを兼用化していた。強引な兼用化の結果生じる多少の齟齬は、熟練工が勘と経験で補正していたのである²³。これらも完全に職人の手に委ねられた熟練であった。逆に言えばこれは、彼らがいなければ、パイプの品質管理が困難なことを意味していた。これに対し、インボリュート曲線ロールによって無理なく兼用化を進めたFFミルならば、熟練に依存しなければならぬ範囲が小さくて済む。また、パイプ・メーカーが所有すべき専用ロールの数も大幅に減り、事後的調整の必要性も大きく減少させてくれたのである。

ただし、その事業展開は、簡単には進まなかった。

3. 事業展開

初期のFFミルは価格が高かった。従来のコンベンショナル・ミルとの競合となると、どうしても不利な立場に置かれてしまっていた。そのなかで唯一幸いだったことは、タイミングに恵まれたことであった。バブル経済のおかげで、優れた技術には金に糸目をつけない顧客からの受注に恵まれたのだった。勉は、開発初期を次のように説明する。

開発当初は、FFの時代、5〜6年間はほぼゼロ。利益としては、マイナスにはなっていないと思いますが、ゼロ近くです。だから「何をやっているのかな」と思いましたが、ちょうどまくバブルの時期と遭遇して、私どもの技術が欲しいという、先ほど申し上げたロール交換（の合理化）ですね、「とりあえずいくらでも良いから欲しい」というようなお客さんがおられて、何とかうちの金額を受けて頂けた、というようなラッキーがあつて、何とか開発を続行できたんじゃないかな、と思います²⁴。

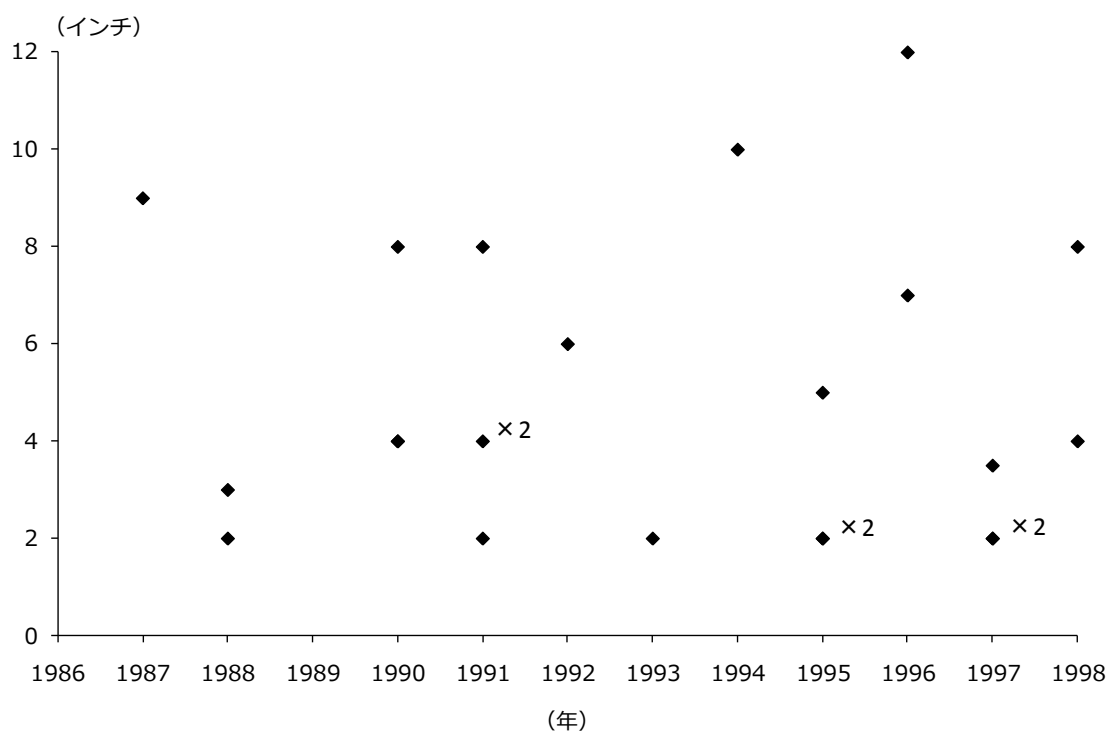
事実、売上高の推移を示した図3を見直すと、バブル経済のピークにあたる1990年度に

²³ 『日経産業新聞』1996年1月19日、p. 14。

²⁴ 講演会（中田勉：2010年6月17日）。括弧内筆者追記。

30 億円を超えている。しかし同時に、1993 年度には FF ミル開発以前の水準にまで落ち込んでいることもわかる。この動きは、FF ミルの実績を見ても確認できる。図 5 は、FF ミルの実績推移をインチ別に示した図である。1991 年に操業を開始した FF ミルが 4 基で最多となっていることがわかる。ところが 1992 年から 3 年にわたりわずか 1 基で推移し、その後も 1991 年の台数を超えることはなかったことがわかる。バブル崩壊とコンベンショナル・ミルとの戦いの中で、事業展開に悪戦苦闘する日々が続いたのであった。

図 5 FFミルの製品展開



出所：中田製作所提供資料。

注1：全22基。一部重複があるためドット数は少なく見える。

注2：データは、操業開始年に基づく。

そのなかで、勉は次の仕込みに移るべく、さらなる人材獲得に乗り出していった。1991 年には住友金属から滝口博司を、次いで 1995 年に新日鉄の研究所から柏村英樹をそれぞれ採用していく。とくに彼らが FF ミルに造詣が深かったからというわけではなく、中田製作所のさらなる発展を狙っていくために多様な人材を招いた方が良い、という勉の判断に基づくものであった。事実、滝口は長年にわたってシームレス・パイプを開発し続けてきた人物であり、FF ミルとは何ら関係がない。

滝口を待っていたのは、FF ミルが求める技術水準と中田製作所のそれとのギャップであ

った。FF ミルは事業化されて5年目を迎えていたものの、それでもまだ中田製作所にとって技術的にかなり無理した水準にあった。勉と滝口はそれぞれ次のように振り返る。

中田：技術屋そのものも機械設計そのものも、私に言わせればまだまだ町工場
の設計ということで、機械というんじゃなくて、もう本当にお粗末な
おもちゃみたいなものだったと思うんですよ。そこへFFなんていうもの
が入ってきたもんだから。ちょうど彼が入社したら、シャフトが折れた
ただの何だのと言って、彼はもうお客さんのところの虜になっちゃいま
してね。

滝口：しかも、(FF は) やっぱり移動機能だけは一丁前に全部つけるんです
から。全部で54軸ぐらいありましたね。だから、もうしょっちゅうポ
ジショニングが狂うんですよ。そういう意味では、ちょっと理論が先走
りして、ハードがついていっていなかった、というのはあるのかもしれ
ません²⁵。

それをわかったうえで勉は、より要求の厳しい顧客への営業を積極的に進めていった。
FF ミルの投入を機に、同社の技術水準を一気に引き上げようとしていたのである。当然、
滝口たち技術陣は奔走することとなる。この悪戦苦闘のなかで、中田製作所はFF ミルの技
術的な限界を知覚するようになっていった。コンベンショナル・ミルに比較すれば良くな
ったとはいえ、依然としてFF ミルのロール調整は熟練した個人に強く依存しており、ビジ
ネスとして成り立ちがたいとの危機感が芽生えていったのである。

IV. FFX ミルの開発

1. T&D センターの設立

FF ミルは高い評価を得たが、今述べたように、問題が無いわけではなかった。たしかに
FF ミルの開発によって、造るパイプに応じてロールを交換するという重労働は大きく軽減
された。これはコンベンショナル・ミル時代から見れば、大きな飛躍であった。しかし、
今度はロール位置の調整という新たな課題が製造現場に突きつけられたのである。

FF ミルの場合、ノウハウを持たないユーザーはなかなか適切なロール位置をセットする
ことができない。FF ミルは、コンベンショナル・ミルやケージ型ミルとはまるで異なるロ
ール形状をしているからである。FF ミルのロール位置調整は、実際にパイプを試験製造し、
それを手で触って感触を確かめてロールの位置を少しずつ再調整していくという、個人の

²⁵ インタビュー（中田勉、滝口博司：2010年7月16日）。

技量に依存するプロセスであった。誰がやっても上手くいくというわけではなく、熟練の技が必要とされる職人の世界から脱却できていなかったと勉は語る。

触ってみて、何ともこの辺はまた熟練した技能者がやると、わりにすつといくんですけれども、そうでない人がやると、いくらやってもおしゃかばかり出て、なかなかいい形状というか、溶接環境が得られないんですね²⁶。

本来、ロール位置の調整はユーザーたるパイプ・メーカーが自ら行うものであり、中田製作所にはさほど関係なくも見える。しかし、ロールまで責任を持って製作するというコンセプトを持つ FF ミルの場合には、中田製作所がユーザーのロール位置調整を手伝う必要があった。ただし、今述べたように、これは誰でもできるものではなく、中田製作所のなかでも特定の間人でなければ上手く調整できなかつた。個人に依存しなければパイプが作れない装置では、中田製作所に未来はない。FF ミルはハードウェア、ソフトウェアの両面で進歩を続けていたが、やがて勉は将来に危機感を抱いていく。彼は次のように語る。

やっぱりこの世界は本当にスキルの、職人技の世界でして、調整がうまくいかないと必ず「A 君を呼んでくれ」とお呼びが掛かるわけですね。A 君が行くとうまく出るんですよ。帰ってきてしばらくするとまた呼び出されて。「君はこれから中田製作所をやっていくにおいて、いつまでも A 君、A 君って、A 君に頼っているような、そんなことでいいのか、A 君がいなかったら会社はつぶれるんじゃないか」と（ユーザーに言われた）²⁷。

喫緊ではないかもしれないが、それだけにより深刻なこの課題に直面して、中田製作所がとった対応はユニークであった。どうすればより良く、より容易にロールを調整できるかと試行錯誤を重ねるよりも、理論的・学問的に理想の成形方式を追求する道を選んだのである。要するに、より知識の源流へと遡った技術開発を志したのである。

1980 年代半ば頃から、勉は何人かの技術者に「理論的に遊べ」と指示を与え、具体的な目標は定めずに自由に研究させる試みを始めた。この試みは、1991 年に T&D センター (Technology and Development Center) を設立することで、さらに加速された。このセンターは、成形機事業部の技術部の下に設けられ、総勢 5 名程度が所属していた。注目すべきは、その構成と自由さにある。

まずメンバー構成を明らかにしよう。T&D センターには、「理論的に技術を確立する」との目標のもと 2 種類の技術者が集められた。パイプ製造に長年関わり現場を熟知する技

²⁶ 講演会（中田勉：2010 年 6 月 17 日）。

²⁷ 講演会（中田勉：2010 年 6 月 17 日）。括弧内筆者追記。

術者と、製造現場には強くないものの塑性力学の理論を熟知する研究色の強い理論派である。大学や大学院で塑性力学を学んだもののパイプ製造経験はない、「アカデミックな解析が好きだと、板の変形が好きだと、学問をなんとか追究したい²⁸」人材が好んで採用された。

T&D センター長をつとめたのは、生え抜きの岡本寛。彼もまた「理論的に遊べ」との緩やかなミッションをメンバーに求めていた。これが T&D センターの 2 つめのユニークさである。このミッションのもと、1990 年代前半において T&D センターは、受注した FF ミルのロール設計という業務を行いながら、研究としては成形の基礎的な分析を進めていた。ただしこの分析は、研究というにはほど遠く実に泥臭い作業だったと滝口は語る。

当時 T&D で何やったかという、ロールを通して、途中止めして、溶接で固定して、3次元測定器というばかり機械を購入しまして、実際にどの程度曲がっているかと、一生懸命汗水流して測定したところからスタートしたんですよ。FF 開発してから、兼用で曲げるというのは結構難儀な仕事ですね。それを途中止めやっては 3次元測定器で測って、この場合はこうなってあぁなって。そういう非常に泥臭い仕事²⁹。

この泥臭い作業を通じて、T&D センターは少しずつ成形と変形に関する情報を蓄積していく。加えて、設計業務に専念しがちな機械設計部とは異なり、T&D センターの技術者たちは客先におけるミルの設置と始動に立ち会う役目も担っていた。つまり、客先で何が起るのか、どういう使い方をするのか、という情報が T&D センターの技術者に蓄積されていったのである。これらの情報が蓄積できるようになったことは、重要な進歩であった。

ただし、それが T&D センター本来の目的を全て満たしていたとは言いがたいところがある。テストして分析するというのは試行錯誤そのものであるし、そして何よりロール設計もまだかなり経験主義的に行われていたからである。

2. 転機

T&D センターの様子が変わり始めたのは、1990 年代半ばからであった。具体的には、1995 年に王飛舟、翌 1996 年には中野智康が入社し、同センターに配属された時からである。この 2 人が中田製作所の技術開発を大きく転換させ、FFX 開発に大きく貢献していく。

王は、中国の上海交通大学を卒業した後に東京大学大学院へ進学、木内学研究室で塑性力学を学んだ人物であった。塑性力学の本家とも言える木内研究室において王はロール成形のシミュレーションについても学んでおり、成形解析のエキスパートでもあった。一方の中野は、大阪の大学でコンピュータを専攻していた人物であった。彼らが入社した頃の T

²⁸ インタビュー（中田勉：2010年7月8日）。

²⁹ インタビュー（滝口博司：2010年6月17日）。

&D センターは、設立以来の自由な雰囲気は保たれており、しかし同時に泥臭い作業もまた保たれていた。中野は当時の様子を次のように振り返る。

私が入社した当時は、ロールに関する基礎的な研究をしている段階で、とにかくテスト機を作って、パイプを流して、三次元測定器で形状を測定し、また別のあら型形状で同じようなテストをし、データを蓄積し、分析していた段階でした。(中略)

FFX もそうなんですけど、「今ある成形の技術を飛躍的に進歩させる新たな成形方法を開発する」と、そういう大きな目標あったんですけど、具体的な方法であったりスケジュールであったり、いろんな工程があるんですけど、どこをどう着手していくかというのは「思いついたところから手をつける」というような、本当に自由な雰囲気でした³⁰。

パイプ作りに関しては素人だった王と中野は、入社後しばらくは先輩技術者の指導のもとで業務・研究を進めていった。だがパイプ作りの全体像を把握するにつれて、次第に彼らは T&D センターに隠された非効率性に気がついていく。王は、当時感じた疑問を次のように説明する。

我々のロールは FF なんなんですけども、インボリュートという複雑な曲線を使って、ロールもまたかなり動くんですよ。すると、設計が難しいですよ。例えば、一段目はやっとなら決めたと、こういう位置でこういう範囲で動かしたらやっとならできたと。今度、二段目に持って行ったら、つじつまがあわなくなるんですよ。ですから、またもどって、行ったり来たりして。(中略)

ひとつのラインでロール設計が 3 ヶ月くらいかかった、という記憶があるんですよ。で、できた瞬間、設計者が、我々の先輩が、「やったー！」という感じなんですけど、横で見てたら「これで最適化されたのかな？」とかね。で、訊いたんですよ。要は、「無限の可能性がある中から（その設計を）選んだ根拠はありますか」と訊いたら、「いやいや、やっとならできたのに何を言ってるんですか」とか言われて。1セットでも 2 ヶ月とか 3 ヶ月かかっている。当時、中野と話して「これじゃ、1年で4台くらいしか造れませんね。最適化もされてないし。」と³¹。

彼らから見れば、先輩達の仕事の進め方には、理論的な根拠が欠けているように思われ

³⁰ インタビュー（中野智康：2010年7月8日）。

³¹ インタビュー（王飛舟：2010年7月30日）。括弧内筆者追記。

た。そこで彼らは、その非効率性を解消すべく、二人がかりで独自技術を開発し始める。自由な雰囲気を持つ T&D センターならではの行動であった。

彼らがまず着手したのは、成形解析ソフトの開発であった。成形解析ソフトは、板がパイプになるまでの塑性変形を解析するソフトと、構造解析ソフトの2つからなる。このうち構造解析は市販ソフトで対応可能だったけれども、塑性変形の解析となると非常に難しく、独自の成形解析ソフトを開発する必要があったのである。

この開発は、王がほぼ1人で進めていった。中野は「解析ソフトの設計につきましては、王が一人でコンピュータに向かいながら開発していた³²⁾」と述懐する。ロール設計を通じて三次元成形解析の意義を自覚し始めていた王は、その重要性を次のように語る。

現場で実際に発生している現象を、お客さんに言われるんですよね、「これを解析してもらえないか」と。そのときに三次元がないと、実態と合わせるようなことがまずありえないんですよね。それで、「三次元じゃないといけない」と。まず、ソフト的に三次元目指して、もう一回、ソフトを開発し直して³³⁾。

とはいえ、90年代前半のコンピュータの演算能力では、二次元での成形解析までが限界だった。王が入社した90年代半ばでも十分でなく、三次元成形解析ソフトを開発するには高性能のワークステーションが必要であった。

3. CAX システムの開発：FEM 解析技術と自動設計ソフト

1台 500 万円。王が上司に購入を働きかけたワークステーションの価格である。中田製作所にとって大金であり、決済権限を持つ役員は難色を示す。しかし、王は「必要だから」という理由で食い下がり、最終的には勉がその購入を決断したのであった。

ワークステーションは十分な効果を発揮した。1996 年後半から開発し始めた解析ソフトは翌 1997 年に完成、その解析結果は実機試験の結果と見事に符合する。かくして十分な精度が確認された三次元成形解析ソフトは、1998 年から現場に投入されていった³⁴⁾。しかし、このソフトが本当の威力を発揮するには、もう一つ補完的なソフトウェアの開発を待たねばならなかった。王と中野が二人で完成させた、自動設計ソフトである。

³²⁾ インタビュー（中野智康：2010年7月8日）。

³³⁾ インタビュー（王飛舟：2010年7月30日）。

³⁴⁾ 「1997年くらいから使い始めて、98年に実際に、ロールで通した材料と FEM 解析の結果、様々な比較検討試験をしました。実機で流したパイプを細切りにして、引っ張り試験を行ったり、硬度試験を行ったり。FEM 解析の結果と（実機試験の）グラフを重ね合わせて、精度が十分満足しているものであると、そういうテストをしたのが 1998 年です」（インタビュー、中野智康：2010年7月8日。括弧内筆者追記。）

先にも述べたように、彼らが入社した当時のロール設計は、手作業で試行錯誤的に行われていた。試行錯誤しながら時間をかけて設計し、なんとか完成を見たとしても、それが本当に最適な設計なのかどうかは誰にもわからない。そのような状況に、王と中野はともに問題意識を感じていた。中野によれば、設計だけでなく、実機に搭載する局面でも試行錯誤的であったという。

運が良ければ一度でロールの形状が決まりますけど。ロールの設計というのは非常に泥臭いんですけど、形状が悪かったら削ると、というのが常識でした。一度でうまくいくなんてのはなかなかなくて、何度もロールを研磨して研磨して最終形状にしていくと。非常に開発の期間もかかって³⁵。

そこで王と中野は、「人間が作業するような設計は全部自動化に」との目標を立て、共同で自動設計ソフトの開発にあたっていった。数学が得意な王と、プログラミングに秀でる中野は、実に良いコンビであった。2人とも数学とコンピュータの基礎知識を備えているため話が通りやすく、しかもそれぞれが専門とする得意分野がとても補完的な関係にあったからである。その組み合わせの妙もあり、成形解析ソフトが完成してからわずか半年～1年後の1998年、自動設計ソフトは完成した。

彼らが開発した自動設計ソフトには、主に2つの利点があった。第一に、このソフトは設計結果に根拠を与えてくれた。既に述べてきた通り、従来は手作業であれこれ考えながら設計しており、膨大な時間がかかっていた。そのため、何とか形になる設計に行き当たれば、それが本当に最適かどうかは吟味せずに完成としていた。一方でこのソフトは、あらゆるパターンをシミュレートした上で最適な設計を選んでくれる。これまで欠けていた設計の理論的根拠が、ここにきて初めて与えられたのである。王はこう説明する。

範囲を入れて、製品のサイズ、外径、肉厚、そういう情報を入れて、更に適切に経験則も入れて、だいたい今は何秒間で（結果が）全部出るようになりましたね。さらにそれは勝手に選んだのじゃなくて、何千万ケースの中から一番良い、経験則で一番良いというものを選びだして、それからFEMかけますね。（中略）自動的に、干渉するかしないかとかね、全部ソフトの中でチェックされて。だから、出てきた結果は、ほぼそのまま使っても良いくらいの精度なんですよ³⁶。

³⁵ インタビュー（中野智康：2010年7月8日）。

³⁶ インタビュー（王飛舟：2010年7月30日）。括弧内筆者追記。

第二に、この自動設計ソフトは FEM 解析用のモデル³⁷を出力してくれる、という利点があった。通常、ソフトウェアによるシミュレーションにはモデルが必要であり、そのモデル構築が手間のかかる作業となる。顧客が持ち込んだ図面を全てモデル化するには約 1 週間かかると見て良い。しかも手作業だからミスが頻発する。これに対し、自動設計ソフトは FEM 解析ソフトに直結するため、図面のモデル化というボトルネックを解決し、圧倒的な時間短縮効果を発揮したのである。

時期的には少し先の話だが、ロール設計の ICT 化に成功した中田製作所は、2003 年にはスタンド設計も ICT 化する。市販の構造解析ソフトと CAD を導入し、さらにロール設計のモデルを活用することで、ロールからスタンドまで一貫した設計システムを構築したのである。図 6 に示されるこれらのシステムは、CAX システムと名付けられた。このシステムが誕生することによって、技術者たちは設計という大きな負担から解放されることにもなった。それは手作業からの解放という意味だけではなく、精神的な負担をも免れるようになったということである。システム導入以前と以後をよく知る中野は、こう語る。

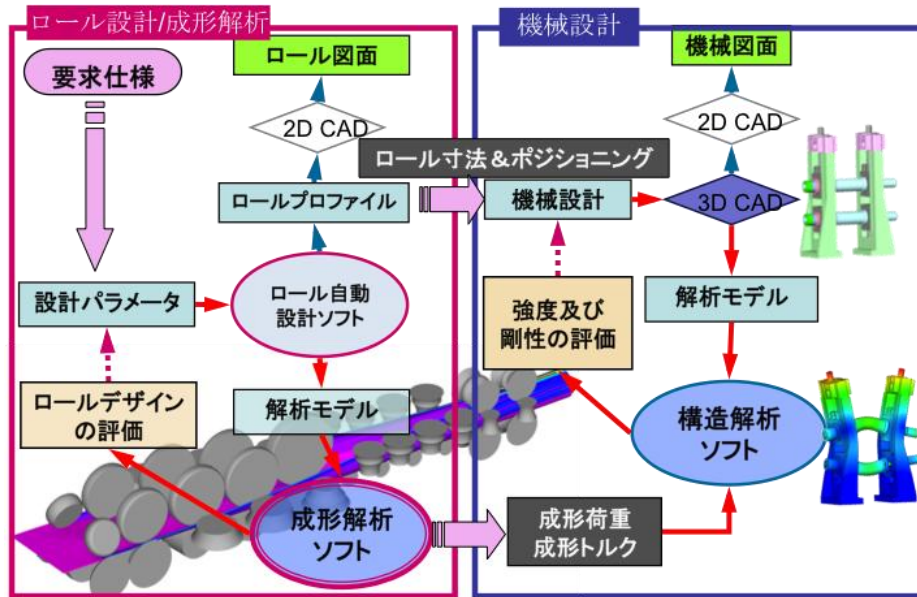
(CAX システムが完成するまでは、ロールを実際に) 作って流すまでわからない、非常に不安な時期が何ヶ月もあるんでね、精神衛生上よろしくない。

(中略) ロールの制作納期って非常に長くて、あとはもう、その日、「裁判の日」を待つ。(中略) (CAX 導入の) 当初は少し不安はありましたけど、今はもうゆっくりぐっすり眠れるようになりました³⁸。

³⁷ モデルとは、現実に存在する無数の変数の中から幾つかを抽出し、変数間の関係性を整理したもの。このモデルに従って、シミュレーションが行われる。

³⁸ インタビュー (中野智康 : 2010 年 7 月 8 日)。括弧内筆者追記。

図6 CAXシステムの全体像



出所：中田製作所提供資料。

CAX システムの完成はまだ少し先の話だが、解析ソフトと自動設計ソフトは T&D センターの技術者たちの負担を大きく減らした。負担から解放された彼らが、そのエネルギーを創造性の発揮に向けたことは想像に難くない。彼らは、FF ミルを改良すべく活発にシミュレーションを行うようになった。その結果見えてきたものは、更なる進化の道筋ではなく、FF ミルの限界であった。

4. エッジイベント方式の確立

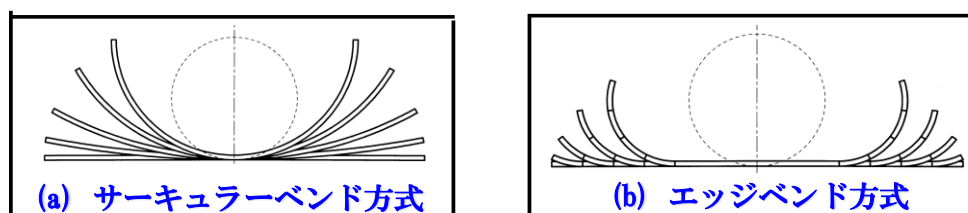
解析ソフトが完成した 1997 年から 1998 年は、FF ミルが登場して 10 年が過ぎた時期にあたる。この頃になると、成形する材料の強度は増し、精度の要求も厳しくなっていた。従来の FF ミルで顧客の要望に応えることは難しくなっており、解析結果はその問題をあざやかに照らし出していた。しかし有効な解決策はなかなか見つけられず、社内には閉塞感が漂いつつもあった。やがて、この問題に直面した王や中野ら若手技術者たちは、現行の成形方式を根本的に変えるほかない、と考えるようになる。王は次のように述べる。

当初、我々の先輩が「解析してくれ」、「いったいどこがおかしいんだ？」と。それを解析してみますと、「いやいや、それは原因は分かったけれども、しかしこのようなシステムだったらなかなか直らないな」と。そこからほぼ同年代の私と同じぐらいの方、何人かと「もうちょっと何か良い方法はないのか」

ということを考え始めたんです。それが1つのきっかけであって³⁹。

彼らが考えついたのは、成形方式を現行の「サーキュラーベンド方式」から「エッジベンド方式」へ変更することであった。この2つの方式は図7に示す通りである。サーキュラーベンド方式とは、板全体を緩やかに少しずつ曲げていく方式である。机の上に置いた紙の両端を持ち、中空で合わせて管状にする方法をイメージすれば良い。このとき紙は全体が平均的に曲がっている。エッジベンド方式は、板を複数部分に分け、その部分部分を最終的な形状まで一息に曲げる方法である。机の上に置いた紙を何等分かしてそれぞれ折り目をつけながら曲げ、最終的に両端を合わせて管状にするイメージである。

図7 サーキュラーベンド方式とエッジベンド方式



出所：中田製作所提供資料。

両者の大きな違いは、弾性にある。前者であれば、中空で合わせた紙を離すと、瞬く間に元の形に戻ってしまう。すなわち弾性が強い。しかし後者であれば折り目が残るため、より管状に近い形に落ち着いてくれる。弾性は成形の大敵であり、単に板を曲げることだけを考えれば、エッジベンド方式の方がもちろん優れている。このこと自体は、古くから知られていたことであった。

しかし同時に、エッジベンド方式は実用的ではないと広く認識されていた。というのも、エッジベンド方式は各部分を一息に最終的な形状にしていくため、そのつど各ロールに高い位置精度が要求されるからである。ロール位置の許容誤差である公差は、全ロールを経た後に管状になっていけば良いと考えるサーキュラーベンド方式よりも、一段一段のロールが最終形状に直結するエッジベンド方式の方が格段に厳しいものになる。しかも扱う素材は多様きわまりないため、より頻繁にロール位置を調整せざるを得ない。その結果、成形の本筋から言えばエッジベンド方式が良いと誰もが知りつつも、操業効率の観点からはほとんどの装置でサーキュラーベンド方式を採用していたのである。滝口はこう指摘する。

(サーキュラーベンド方式は) ちょっとごまかしたような成形ですから、同

³⁹ 講演会（王飛舟：2010年6月17日）。

じ径で板厚が変わってもロールは多少調整するだけでいけるということで実用性は非常に高い。これ（エッジベンド方式）はそういう意味では実用性がほとんどないためにほとんど使われてなくて、九十数パーセント、ほとんどはこの（サーキュラーベンド）方式で作られておりました。これ（サーキュラーベンド方式）は成形上からはあまりよくないんですが、（エッジベンド方式を利用して）同じ径でいちいちロールを変えていたのでは仕事になりませんから、実用的にこちら（サーキュラーベンド方式）の方が使いやすい⁴⁰。

しかし若手技術者達の考えは違った。彼らはエッジベンド方式の検討を重ね、ついに完成させたのである。彼らが新方式の検討を重ねてそれを完成に導けたのは、成形解析ソフトが試行錯誤のコストを大幅に下げてくれていたからである。いかに T&D センターに寛容な中田製作所でも、見込みもない新方式をいちいち実機で試験させることは、資源制約上、無理である。しかし成形解析ソフトは、コンピュータのシミュレーションによる自由な試行錯誤を可能にしたのであった。王は次のように語る。

いちいち実験機を造ってやってみようというのは、ある意味でちょっと考えられないことです。逆に我々のコンピュータ上は「好きなようにこうやってみようか」、「ああ、やってみようか」と。またさらに、応力とかひずみとかという、実物は全然見えないこういう情報が簡単に入る。だから本質を見ながら問題を解決していくのが、より効率的です。そういう意味で、当初はまず解析技術を導入して、それから開発をするというのは非常に正解だなと思っていますけどね⁴¹。

ただし、ここで完成した案はまだコンピュータの中であった。新たな開発は事業展開を必ず約束するものではない。ミルはパイプ製造の心臓部にあたるため、顧客はその乗り換えに慎重になる。勉は、顧客への提案機会を決して逃すことのないよう、その案を記した資料を普段から持ち歩いていた。その普段からの準備は、偶然をつかまえることとなる。

V. FFX ミルの事業展開

1. 初号機納入：日本パイプ製造

FFX ミルの第一歩は、日本パイプ製造（現、住友鋼管）から始まった。日本パイプ製造で製造部長を務めていた秋山健治が、FFX ミルの技術アイデアを見るや否や、発注を従来

⁴⁰ 講演会（滝口博司：2010年6月17日）。括弧内筆者追記。

⁴¹ 講演会（王飛舟：2010年6月17日）。

の FF ミルから新しい FFX ミルへと切り替えたのである。独断かつ即決であった。

造管成形の分野で、この種の切り替えを独断かつ即決で行うことは、自らのクビを賭けたに等しい重さがあった。なぜなら、もし新しい FFX ミルが機能しなければパイプの製造工程全体が止まることとなるからである。しかしそれでも秋山が発注を切り替えたのは、当時、日本パイプ製造が自動車用の低ひずみステンレス鋼管の製造に苦悩しており、彼らも新しい造管アイデアを求めていたからである。折しも、自動車各社は自動車の軽量化と燃費向上をねらって鋳鉄からステンレス管への切り替えを進めていた。しかしその製造に苦悩していた秋山達の目には、今まで以上にひずみの小さいパイプを製造できる FFX ミルのアイデアは、きわめて魅力的に映ったのである。中田と王は、次のように矢継ぎ早に語る。

中田：日パイの製造部長で、この人も成形にうるさい人なんです。この人が、何か私と一緒にローフィンのレーザーの研究所というか、試験をしたいと。レーザーで溶接するというのを、私もローフィンのドイツの研究所に 10 日ぐらいこもっていましたので、多少なりともレーザーの性格くらい知っていたんです。それで、「中田さん、一緒に行ってくれないか」と。「じゃあ、一緒に行きましょう」と言って、その新幹線の中で実は見せたのです。そうしたら彼は「これだ！」と。「これは中田さん、もう絶対良い！」と。

王：我々も非常にありがたくて。本当に、こういう 1 基目を採用してくれるお客さんはなかなかいないですね。彼らも非常にリスクを背負っていて。

中田：それはもうすごい。何度も言いますが、これ、間違ったら本当に彼らの仕事、大変なことになっちゃうんですね⁴²。

1998 年 12 月 3 日、日本パイプ製造は、住友金属工業と中田製作所とともに自動車用ステンレス鋼管を共同開発したことを発表する⁴³。中田製作所が初めて納入した FFX のミルサイズは、2 インチだった。

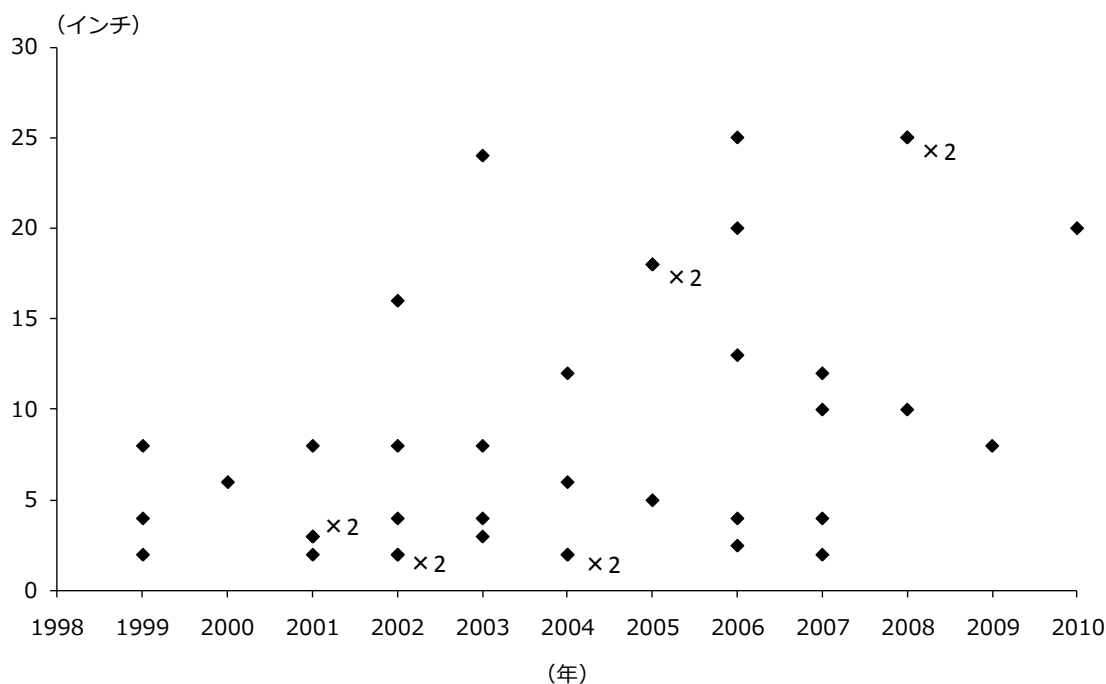
2 インチから始まった FFX ミルは、その後、大型化への道を辿っていった。図 8 は、1998 年から 2009 年までの FFX ミルの納入実績を示した図である。1998 年から 2001 年までは、サイズの上限が 8 インチでとどまっていることがわかる。その壁を乗り越えたのが、2002 年にアメリカのマーベリック社（現、テナリス社）へ納入した 16 インチのミルであった。その翌年の 2003 年には、さらに大型の 24 インチのミルが操業し始めていることがわかる。動き出したのは、新日鉄の光製鉄所に納めた FFX ミルであった。

⁴² インタビュー（中田勉、王飛舟：2010 年 6 月 17 日）。

⁴³ 『日経産業新聞』1998 年 12 月 4 日、p. 16。

中田製作所の FFX ミルを初めて導入することを検討する打診が新日鉄の光製鉄所から届いたのは、2000 年頃のことである⁴⁴。導入することを検討する打診、と長く書いたのには理由がある。そもそも新日鉄は非常に慎重な企業であり、日本パイプ製造のときのように即断で発注、ということはある得ないからである。加えてこの打診は新日鉄にとっても一大プロジェクトであり、彼らも今まで以上に慎重にならざるを得なかったのである。

図8 FFXミルの製品展開



出所：中田製作所提供資料。

注1：全納入実績数は38基。一部重複があるため、ドット数は少なく見える。

注2：データは操業開始年に基づく。

2. 新日鉄・光製鉄所への納入

新日鉄からのこの打診は、中田製作所の事業展開上、次の2つの点で極めて重要な意味があった。なぜなら、第一に、世界的大企業である新日鉄への納入実績ができれば、今後の営業活動が格段に楽になる。王は次のように説明する。

⁴⁴ この時の注文は、全体プロセスそのものを取り替えるものではなく、ミルのみを取り替えるものであった。設備を部分的に更新することをリバンピング (revamping) という。リバンピングの際には、更新する設備そのものの品質のみならず、前後の装置との親和性も問題となる。他社製品を中田製品に置き換えるという親和性のリスクと、新技術を採用するという技術的なリスクの、二重のリスクが決断の背後にあった。

新日鉄はね、粗鋼生産量は最近ずいぶん落ちてきましたけど、電縫管がナンバーワンというのは全然変わってない。あれはね、どこに行ってもみんな認めますよね、「新日鉄の ERW はナンバーワン、世界一だ」と。また、彼らは高級管ほとんど輸出するでしょ、日本では使われてないんで。だから世界中で有名ですよ。二番目は JFE ですよ、一番目は新日鉄。ですからどこ行っても「新日鉄さんにミルを入れました」と言ったら、「わあ、それはすごいね」という話になるんですよ⁴⁵。

第二に、電縫鋼管のトップメーカーたる新日鉄が求める品質水準を満たせば、中田製作所の技術水準も大きく引き上げられるに違いなかった。しかも今回の打診で新日鉄が求めた技術水準は、2つの事情によって実はかなり厳しくなっていた。まず大きさである。今回は、24 インチという世界初の巨大な中径電縫鋼管新成形機を作る試みであった。中田製作所だけでなく新日鉄にとって初めてのことであり、彼らにとっても一大プロジェクトだったのである。次に、本案件は設備改修時のミル納入であった。工場新設時の立ち上げ時と異なり、操業中の工場における入れ替えであるため、納期の遅れや失敗は新日鉄の生産活動を止めることを意味する。それだけは絶対に許されないことであり、新日鉄の慎重さには幾重にも輪がかかっていたのである。

既に述べてきたように、勉は自社の技術水準をいかに上げるか、ということに腐心し続けてきた。その絶好の機会が、電縫鋼管トップメーカーたる新日鉄における設備改修プロジェクトの受注だったのである。これだけ厳しい条件の中でしかし受注に向けた取り組みを押し進めた勉は、次のように振り返っている。

これをやったらね、実は中田は伸びるわけです。伸びるということは、技術屋のレベルが上がるんです。別の言い方すれば、みんな生意気になるんです。でも、そういうのを僕はものすごい期待している。だから、新日鉄の仕事はとりたいたい。これはもう普通の会社と違う⁴⁶。

世界初の大型ミルを設備改修で入れ替える、という二重の難しさを抱えたのだから、即発注となるはずがなかった。会議を何度開いても、新日鉄の担当者はなかなか首を縦に振らなかった。この開発に関して新日鉄は、「光 24”ミルの開発にあたり、新日鉄の鋼管に携わる技術者が総力を結集し、検討を進めたことが新成形機導入の成功につながった。何百項目という課題を洗い出し、総合技術センター (RE)、環境・プロセス研究開発センター

⁴⁵ インタビュー (玉飛舟 : 2010 年 7 月 30 日)

⁴⁶ インタビュー (中田勉 : 2010 年 7 月 30 日)。

(EPC)、光製鉄所の設備・工場担当者、現場の操業者が総力をあげて検討したという。」と残している⁴⁷。中田製作所側の視点に立てば、新日鉄の担当者に納得してもらうために費やした時間は、実際の設計活動にかけた時間に匹敵するほどに感じられた。

この検討過程において決め手となったのが、FEM技術を用いた成形解析ソフトであった。新日鉄のパイプ製造過程に問題があつてパイプ内側に凹みが生じていることを、成形解析ソフトがシミュレーション結果として鮮やかに映し出したのである。驚いた新日鉄の技術者達がパイプの中を確認すると、その通りたしかに凹みがあつた。手堅く慎重な顧客を納得させるのに、この指摘は効果てきめんであつた。勉は次のように述べる。

僕の記憶では、決定打、満塁ホームランみたいなものだよね。相手をはちんと言わしたと。「もうかなわない、シミュレーションはすごい」ということを証明できて、彼らも信じたということだと思いますね。それ以外にも色々あるんでしょうけれども、彼らが全然気がついていないところにディフェクト(Defect)があつた、と。慌てて彼らも修正した、というようなことを聞いてますけどね⁴⁸。

この一件を機に、中田製作所はようやく FFX ミルの受注にこぎ着ける。最初の検討開始から3年後、2003年11月のことであつた⁴⁹。

3. 跳躍

FFX の採用は、新日鉄にとっても、単に入れ替えという以上に有意義であつた。同社で鋼管営業部部長(当時)を務めていた赤崎宏雄は、『新日鉄技報』のなかで「新成形法(FFX)の採用により従来よりも低 YR の特性を得ることができるようになり、今後の市場浸透への期待が大きい」と記している⁵⁰。YR とは降伏比のことで、この比率が低いほど伸びに強く、パイプがすぐに破断しないことを示している。

設備の企画・検討段階から担当していた光鋼管部電縫鋼管工場マネジャーの谷本道俊もまた、「従来は上下のロールで圧延しながら成形していたため、無駄な歪みが発生していましたが、新方式では最適な曲げ成形を行うことで無駄な歪みの発生を少なくすることができ、低 YR が実現しました。ロールの位置を上下移動、回転などで自由に変更できるため、

⁴⁷ 『NIPPON STEEL MONTHLY』2004年12月号、pp. 9-10。

⁴⁸ インタビュー(中田勉:2010年7月30日)。括弧内筆者追記。

⁴⁹ なお、新日鉄が「鋼管事業部 光鋼管部」を設置したのが2003年10月のことである。これは、新日鉄ステンレス部門の分社化に伴い、光製鉄所の鋼管部門が独立した組織である。中田製作所はその翌月に FFX ミルを納入したことになる。

⁵⁰ 赤崎(2004) p. 67。

全サイズの作り分けが可能で、作業効率も向上しました」とその利点を指摘している⁵¹。このように FFX は、新日鉄の ERW ラインパイプ事業にも新展開をもたらしたのであった。

こうして新日鉄への納入を果たした中田製作所は、大型ミル・メーカーとして世界中から注目を集め始める。時折しも、中国やロシアといった国々が急成長し始めており、パイプ需要が大きく膨らんでいた。2007年6月21日には、三菱商事がロシアのウラルトゥループプロム社から大型ミルを受注したことを発表する⁵²。受注額は約100億円。これは三菱商事にとっても過去最大規模であり、ここに中田製作所と三菱日立製鉄機械の名があった。

小型ミル・メーカーから大型ミル・メーカーへの飛躍は、業績を一気に跳ね上げた。図3と8を重ね合わせて見ればわかるように、FFX ミルの大型化と時同じくして売上高が急上昇していることがわかる。18億円（2003年度）から、33億円（2004年度）、そして52億円（2005年度）へと、3年で3倍近くの成長を遂げたのである。著しい跳躍である。

もちろん、FFX ミル単体での利益創出はなかなか簡単ではない。技術的にはFFより格段に進歩したものの、SMS社との競争上、そのメリットを価格転嫁しづらいからである。しかし、パイプ製造は一連のプロセスであり、FFX ミルを足がかりにプロセス全体の受注へと展開できれば、その問題は緩和される。滝口は次のように解説する。

新しくラインをつくるときには、ここ（ミル・セクション）が品質の一番要になるものですから、お客さんによっては「ここだけ中田から買うよ」というお客さんもありますが、「どうせなら一貫して造ってくれよ」と。そうすると、例えば、ここだけですと24インチだったら例えば10億円だけど、全部ラインを作ると数十億円、あるいは場合によっては100億円と。

こういう面がありますから、一概に（FFX ミルの販売）台数だけの効果ではなくて、ここで良い技術を持っているために、こういった注文も一緒に入ってくると。あるいは、場合によっては、ここで良い技術を持っているために、（他の）ここでは別な仲間、たとえば入り側設備を作る専門の仲間ですとか、あるいは走行切断機のメーカーとか、色々なメーカーと非常に有利な提携ができる、というのが非常に大きいのかなと。

そういった意味では、たしかにここは普通のものに比べると非常に高いけれども、そういうニーズの変化に対応できる、ということと、周辺をおさえると言ったら何ですかね、周辺をある程度コントロールできるという、そういう効果があったのではないかと、思います⁵³。

⁵¹ 『NIPPON STEEL MONTHLY』2004年12月号、pp. 9-10。新方式で適用された最適な曲げ成形とは、中田製作所が採用したエッジバンド方式のことである。

⁵² 『日経産業新聞』2007年6月22日、p. 15。

⁵³ 講演会（滝口博司：2010年6月17日）。括弧内筆者追記。

パイプ製造の心臓部である FFX ミルで優位性を築くことにより、その前後工程への目配せと強い交渉力が中田製作所に備わっていたのである。その結果、同社は FFX ミルという部分に特化しながらも、パイプ製造工程全体にわたる統合的な操業知識を蓄積し始めることとなった。

これが中田製作所と顧客をつなぐかすがいになりつつある。中田製作所は、自社で蓄積し始めた統合的な操業知識を活かし、顧客であるパイプ・メーカーが工場を立ち上げる際の相談サービスを引き受け始めたのである。もちろん、工場の生産活動が軌道に乗れば、その後は顧客自身が自立して運営できる。しかしその立ち上げ時においてはどうしても品質管理や工場運営が不安定になりがちである。よって、工程全般の統合的な操業知識を持ち、有償だがその相談に乗ってくれる中田製作所は、顧客にとって非常に貴重な存在になっているのである。しかも、こうして顧客が依存すればするほど、中田製作所にはさらにまた工程全体にわたる知識が蓄積されていくという良循環が生み出されるのである。

VI. おわりに

中田製作所の造管成形事業は、こうして著しい飛躍を遂げた。その成功の背後に見え隠れしているのは、本質を追求する姿勢である。資源に劣る中小企業は、しばしば専門特化を志向する。だがもしも中田製作所がミル・メーカーではなくスタンド・メーカーとして生きる道を選んでいたら、FF ミルや FFX ミルは完成することはなかっただろう。両技術の完成には、ロールに関する知識が決定的に重要だったからである。「ツール（ロール）がわからないで機械（スタンド）は設計できない⁵⁴」との信念を持っていた勉は、貪欲にロール知識を求めた。学会に出て、そこで塑性学の大家と親交を結び、有能な人材を求めた。そうして得たロール知識は、もともと機械メーカーとして有していたスタンド知識と融合し、ミル全体の知識として結実したのである。

開発姿勢もまた独特である。優れた中小企業と言えれば経験に基づく熟練の技に頼るのが相場である。しかし中田製作所は、既存の熟練を乗り越えようとするところから始まっている。同社は、試行錯誤の果てに経験的に得られる暗黙のノウハウに頼るよりも、理論的・学問的に最適値を探求する方法を選んだのである。具体的に言えば、王たち若い技術者たちは、試行錯誤を通じて書き上げてきたロール設計に理論的根拠を求めた。「エッジバンド方式は無理だ」という経験的な固定概念とも無縁であり、理論的に「必要だ」という事情でエッジバンド方式へと行き着いたのである。滝口は次のように語る。

王くんのすごいところは、「そういう動きが要るんだ」（という点にある）。「そ

⁵⁴ インタビュー（中田勉：2010年7月7日）。括弧内筆者追記。

ういう機械ができるかできないか」じゃなくて、「そういう機械が要るんだ」と。結局そういう機械ができたんですけどね、最後。そういった意味ではやっぱり、従来の概念で縛られずに行った、というのがあるかもしれませんね⁵⁵。

こうして「あるべき姿」から入った中田製作所の若い技術者たちは、自動設計ソフトと成形解析ソフトをフル活用することによって、エッジバンド法を見事に確立した。彼らが確立したこれら2つのIT技術は、ロール交換や位置調整にともなう生産活動の不安定性を解消し、その再現性を飛躍的に高めたのであった。しかも彼らの解析能力は、2007年に入ってさらに飛躍している。同年、彼らはパソコンを20台つないで並列に計算する並列計算システムを稼働させたのである。これにより、それまではモデルに組み込む要素を1万要素程度に圧縮せざるを得なかったところを、100万要素ほどにまで拡大して計算できるようになった。要素数の拡大は解析の精度向上につながるため、その恩恵は計り知れない。しかもそれがパソコン20台で済んだのだから、とても安上がりである。

特筆すべきは、このシステムを考案した人物である。考案したのは、王と同じ上海交通大学出身で、2006年に入社した尹紀龍という若手技術者である。彼は、T&Dセンターに配属されてから1年と経たないうちに、誰に指示されるでもなく一人で並列計算システムを作り上げたのであった。プログラミングに秀でた彼は、王が作り上げたソフトウェアの速度面での作り込みを行うと同時に、並列化の開発も進めたのである。彼は、社内のコンピュータをハッキングして、勝手に並列化試験を行ったこともあるという。T&Dセンターの自由闊達な一面が色濃くでているエピソードであろう。

2008年に創業100周年を迎えた中田製作所。次なる成長に向けて、彼らは舵を大きく切り始めている。翌2009年に信号事業部をJRに譲渡して企業ドメインを造管成形事業一本に絞り込んだ後、さらにその事業ドメインを大型ミルへと絞り込んでいった。同社は、大型ミル・メーカーとして生きる道を選んだのである。

この決断は、中田製作所を次の段階へと引き上げている。大型のパイプ製造は技術的にも難しく、品質管理が難しい。加えてその単価は高く、パイプ・メーカー側からすれば、製造ミスによる金銭的打撃は計り知れない。そのためパイプ・メーカーは、工程の心臓部たるミルを担う中田製作所に信頼を寄せ、工程全般に関する助言を求めている。FFXミルの競争優位は、単にそれ自体の受注増加という直接的な効果だけでなく、他工程までも含めた全体の操業技術に関する包括的な情報や知識が幅広く蓄積できるようになる、という非常に重要な波及効果を生み出してくれたのである。ミル部分にはほぼ特化して部分知識を深めた一点集中が、今度は工程全体の統合知識をもたらしてくれたのである。端的に言えば、部分知識に特化するからこそ統合知識が身に付く、という逆説的な現象である。

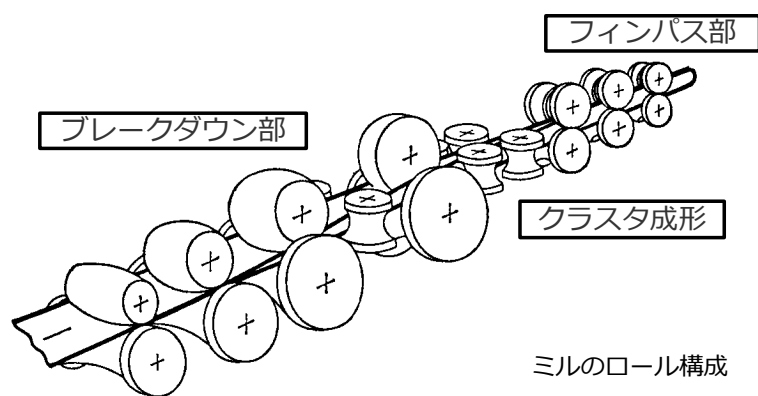
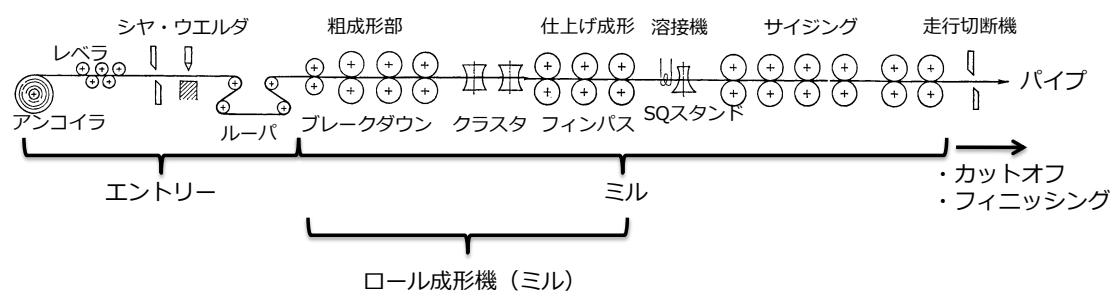
⁵⁵ インタビュー（滝口博司：2010年7月8日）。括弧内筆者追記。

工程全体への目配せを求める顧客に対して、中田製作所はミル以外の設備の開発に乗り出し始めている。もちろん、そのすべてを自社で網羅しようという意図は合わせ持っていない。しかし工程によっては、中田製作所の出る幕が今後増えてくるのかもしれない。それは、SMS社との競争がよりし烈になることを意味している。

新たな競争にも直面している。大型化によって新たに開拓していったラインパイプなどの領域では、シームレス・パイプとの競争が待ち構えている。シームレス・パイプにはエネルギーロス、傷がつきやすい、偏肉、といった欠点があるものの、電縫鋼管には溶接痕が残るという致命的欠陥がある。近年、溶接技術の進歩とともに、溶接部分の品質は著しく改善しつつあるものの、シームレスとの技術競争も今後激しさを増すであろう。

しかし企業活動に競争はつきものである。大型ミル・メーカーへの舵を切っていく中田製作所は、さらなる企業成長に向けて、いったいどのような「次の一手」を打っていくのだろうか。同社がパイプを通してどのような世界を見据えるのか、非常に興味深い。

参考資料 パイプ製造設備とロール成形機（ミル）の概要



出所：中田製作所提供資料をもとに筆者作成。

板をロールに通して管を成形するというロール成形の概念そのものは、新しいものではない。例えば 18 世紀には既に、鉛管の成形にロール成形法が採用されている。現在のロール成形法の特徴は、これが他の二つの技術と結びついた点である。一つ目は、電気溶接である。電気溶接が登場する以前のロール成形では、板の両端を鉤状に加工して、かshめて形状を安定させていた。だが板を電氣的に加熱して溶接する技術が登場することで、ロール成形の精度とコストパフォーマンスは大きく向上していくことになった。時期にして 1920 年頃の話である。ロール成形された管を電気溶接した電縫鋼管は、コストが安く、品質が良く、厚さの均一性が高いために、当時生産量を急速に拡大していた自動車メーカーにとくに喜ばれたという。

コストの安さは、連続式鍛接鋼管製造法（フレッツ・ムーン法）の発明による部分も大きい。この方法が発明される以前は、一定の長さごとに断続的に製造プロセスを回していたのに対して、コイルを少しずつ連続的に装置に流していくこの方法を利用すれば、コイルが続く限り製造プロセスを回し続けることができた。単位時間あたりの生産量の向上は、コストの安さに繋がったのである。

ロール成形、電気溶接、そしてフレッツ・ムーン法の三つの概念が融合することにより、1930 年代から 1940 年代にかけて、電縫鋼管を製造するための基礎的な技術は完成をみる。

その後、1942 年代に広幅ストリップ・ミルが普及して製造可能品種が拡大し、さらに 1952 年に高周波溶接法が開発されて溶接品質が向上することで、電縫鋼管に対する需要は急速に拡大していった。

⁵⁶ 詳しくは、今井（1998）・第 9 章を参照。

<参考文献>

赤崎宏雄「鋼管の技術進歩と今後の展望:適用及び製造技術」『新日鉄技報』第 380 号、2004、
pp. 65-69。

今井宏『パイプづくりの歴史』アグネ技術センター、1998。

株式会社中田製作所『第 56 回 大河内記念生産特賞：高機能造管成形機の開発と実用化』、
2009、pp. 1-18。

株式会社中田製作所『NAKATA 創業 100 周年』2007。

株式会社中田製作所「溶接鋼管の新たな発展を画した高機能造管成形機 FFX ミルの開発と
実用化」2010、講演会資料。

『NIPPON STEEL MONTHLY』2004 年 12 月号、pp. 9-10。

谷本道俊・川田勇・外川修・中治智博・萬ヶ谷鉄也・津留英司・三村裕幸・中村正法「24
インチ中径電縫鋼管新成形機の設置」『新日鉄技報』第 380 号、2004、pp. 106-110。

<取材・講演会：敬称略、アルファベット順>

本ケースの作成にあたり、株式会社中田製作所の方々および東京大学名誉教授の木内学
先生から取材にご協力頂いた。お忙しいところご協力下さった皆様に、記して感謝したい。

木内学 木内研究室 (KILAMETEC) / 東京大学名誉教授

2010 年 7 月 27 日 (火) 15:00~17:00 三田

中野智康 技術部係長 T&D センター 2010 年 7 月 8 日 (木) 15:00~18:00 大阪

中田勉 代表取締役社長 2010 年 6 月 17 日 (木) 14:00~16:30 国立 (講演会)

2010 年 6 月 17 日 (木) 16:40~17:45 国立

2010 年 7 月 8 日 (木) 15:00~18:00 大阪

2010 年 7 月 30 日 (金) 15:00~17:30 大阪

二ノ宮学 技術部係長第 2 機械設計チーム 2010 年 7 月 8 日 (木) 15:00~18:00 大阪

王飛舟 取締役 技術統括 2010 年 6 月 17 日 (木) 14:00~16:30 国立 (講演会)

2010 年 6 月 17 日 (木) 16:40~17:45 国立

2010 年 7 月 30 日 (金) 15:00~17:30 大阪

滝口博司 取締役 相談役 2010 年 6 月 17 日 (木) 14:00~16:30 国立 (講演会)

2010 年 6 月 17 日 (木) 16:40~17:45 国立

2010 年 7 月 8 日 (木) 15:00~18:00 大阪

尹紀龍 技術部主任 T&D センター 2010 年 7 月 8 日 (木) 15:00~18:00 大阪

IIIR ケース・スタディ 一覧表／2004-2010

NO.	著者	タイトル	発行年月
CASE#04-01	坂本雅明	「東芝のニッケル水素二次電池開発」	2003年2月
CASE#04-02	高梨千賀子	「富士電機リテイルシステムズ(1): 自動販売機—自動販売機業界での成功要因」	2004年3月
CASE#04-03	高梨千賀子	「富士電機リテイルシステムズ(2): 自動販売機—新たなる課題への挑戦」	2004年3月
CASE#04-04	高梨千賀子	「富士電機リテイルシステムズ(3): 自動販売機—飲料自販機ビジネスの実態」	2004年3月
CASE#04-05	伊東幸子 青島矢一	「ハウス食品: 玉葱催涙因子合成酵素の発見と研究成果の事業化」	2004年3月
CASE#04-06	青島矢一	「オリンパス光学工業: デジタルカメラの事業化プロセスと業績V字回復への改革」	2004年3月
CASE#04-07	堀川裕司	「東レ・ダウコーニング・シリコン: 半導体パッケージング用フィルム状シリコン接着剤の開発」	2004年3月
CASE#04-08	田路則子	「日本開閉器工業: モノづくりから市場創造へ「インテリジェントスイッチ」」	2004年3月
CASE#04-09	高永才	「京セラ: 温度補償水晶発振器市場における競争優位」	2004年3月
CASE#04-10	坂本雅明	「二次電池業界: 有望市場をめぐる三洋、松下、東芝、ソニーの争い」	2004年3月
CASE#04-11	三木朋乃	「前田建設工業: バルコニー手摺一体型ソーラー利用集合住宅換気空調システムの商品化」	2004年3月
CASE#04-12	伊諒重 武石彰	「東洋製罐: タルク缶の開発」	2004年3月
CASE#04-13	藤原雅俊 武石彰	「花王: 酵素入りコンパクト洗剤「アタック」の開発」	2004年10月
CASE#04-14	軽部大 井森美穂	「オリンパス: 超音波内視鏡の構想・開発・事業化」	2004年10月
CASE#04-15	軽部大 小林敦	「三菱電機: ポキポキモータ 新型鉄心構造と高速高密度巻線による高性能モーター製造法の開発」	2004年11月

CASE#05-01	青島矢一 宮本圭介	「テルモ(1): 組織風土の改革プロセス」	2005年2月
CASE#05-02	青島矢一 宮本圭介	「テルモ(2): カテーテル事業の躍進と今後の課題」	2005年2月
CASE#05-03	青島矢一 河西壮夫	「東レ(1): 東レ炭素繊維複合材料“トレカ”の技術開発」	2005年2月
CASE#05-04	青島矢一 河西壮夫	「東レ(2): 東レ炭素繊維複合材料“トレカ”の事業戦略」	2005年2月
CASE#05-05	兒玉公一郎	「ヤマハ(1): 電子音源に関する技術蓄積」	2005年2月
CASE#05-06	兒玉公一郎	「ヤマハ(2): 携帯電話着信メロディ・ビジネスの技術開発、ビジネスモデル構築」	2005年2月
CASE#05-07	坂本雅明	「二次電池業界(改訂): 技術変革期における新規企業と既存企業の攻防」	2005年2月
CASE#05-08	高永才	「京セラ(改訂): 温度補償水晶発振器市場における競争優位」	2005年2月
CASE#05-10	坂本雅明	「東北パイオニア: 有機ELの開発と事業化」	2005年3月
CASE#05-11	名藤大樹	「ハイビジョンプラズマディスプレイの実用化 プラズマディスプレイ開発協議会の活動を中心に」	2005年7月
CASE#05-12	武石彰 金山維史 水野達哉	「セイコーエプソン: 自動巻きクォーツ・ウォッチの開発」	2005年7月
CASE#05-13	北澤謙 井上匡史 青島矢一	「トレセンティテクノロジーズによる新半導体生産システムの開発 —300mm ウェハ対応新半導体生産システムの開発と実用化—」	2005年10月
CASE#06-01	武石彰 高永才 古川健一 神津英明	「松下電子工業・電子総合研究所: 移動体通信端末用 GaAs パワーモジュールの開発」	2006年3月
CASE#06-02	平野創 軽部大	「川崎製鉄・川鉄マシナリー・山九: 革新的な大型高炉改修技術による超短期改修の実現 大ブロックリング工法の開発」	2006年8月

CASE#07-01	武石彰 宮原諄二 三木朋乃	「富士写真フイルム： デジタル式 X 線画像診断システムの開発」	2007 年 7 月
CASE#07-02	青島矢一 鈴木修	「ソニー： フェリカ(A):事業の立ち上げと技術課題の克服」	2007 年 7 月
CASE#07-03	青島矢一 鈴木修	「ソニー： フェリカ(B):事業モデルの開発」	2007 年 7 月
CASE#07-04	武石彰 伊藤誠悟	「東芝： 自動車エンジン制御用マイコンの開発」	2007 年 8 月
CASE#07-05	青島矢一 朱晋偉 吳淑儀	「無錫小天鵝株式会社： 中国家電企業の成長と落とし穴」	2007 年 8 月
CASE#07-06	青島矢一	「日立製作所： LSI オンチップ配線直接形成システムの開発」	2007 年 9 月
CASE#07-07	坂本雅明	「NEC： 大容量 DRAM 用 HSG-Si キャパシタの開発と実用化」	2007 年 9 月
CASE#08-01	小阪玄次郎 武石彰	「TDK： 積層セラミックコンデンサの開発」	2008 年 1 月
CASE#08-02	福島英史	「東京電力・日本ガイシ： 電力貯蔵用ナトリウム—硫黄電池の開発と事業化」	2008 年 3 月
CASE#08-03	青島矢一 北村真琴	「セイコーエプソン： 高精細インクジェット・プリンタの開発」	2008 年 5 月
CASE#08-04	高梨千賀子 武石彰 神津英明	「NEC： 砒化ガリウム電界効果トランジスタの開発」	2008 年 9 月
CASE#08-05	小阪玄次郎 武石彰	「伊勢電子工業： 蛍光表示管の開発・事業化」	2008 年 9 月
CASE#09-02	青島矢一 大倉健	「荏原製作所： 内部循環型流動層技術の開発」	2009 年 6 月

CASE#09-03	藤原雅俊 積田淳史	「木村鑄造所： IT を基軸とした革新的フルモールド鑄造システムの開発」	2009 年 7 月
CASE#10-01	工藤悟志 清水洋	「東芝： 0.6μ m 帯可視光半導体レーザの開発」	2010 年 1 月
CASE#10-02	山口裕之	「東レ： 非感光ポリイミド法に基づくカラーフィルターの事業化と事業転換」	2010 年 3 月
CASE#10-03	三木朋乃 積田淳史 青島矢一	「NHK 放送技術研究所・NHK エンジニアリングサービス・日本ビクタ 株式会社： 話速変換技術を搭載したラジオ・テレビの開発」	2010 年 4 月
CASE#10-04	青島矢一 高永才 久保田達也	「日本電気： 最先端 LSI 量産を可能にした ArF レジスト材料の開発」	2010 年 5 月
CASE#10-05	青島矢一 大久保いづみ	「新日本製鐵： コークス炉炭化室診断・補修技術」	2010 年 7 月
CASE#10-06	久保田達也 青島矢一	「横河電機： 高速共焦点顕微鏡の開発と事業化プロセス」	2010 年 7 月
CASE#10-07	工藤秀雄 延岡健太郎	「パナソニック： IH 調理器の開発」	2010 年 7 月
CASE#10-08	今井裕介 岩崎慶 宰務正 鈴木裕一郎 山田将知	「株式会社高井製作所の組織改革」	2010 年 7 月
CASE#10-09	工藤悟志 清水洋	「ソニー： MOCVD 法による化合物半導体デバイスの開発と量産化」	2010 年 8 月
CASE#10-10	積田淳史 藤原雅俊	「中田製作所： 高機能造管成形機の開発と実用化」	2010 年 9 月