

第3章 加工

3.1 加工分野における最近10年の歩みと今後の展望

平成6年6月に圧延理論部会第100回記念シンポジウムが開催されてから、はや10年が経過した。この間の圧延理論部会の活動を表3.1に示す。発表件数や参加者数に停滞が見られ、ここ数年は圧延理論にこだわらず、広く加工プロセス・商品開発を対象としてその活性化をはかってきた。発表内容を製品分野で見ると、熱延28%、冷延25%、共通13%、厚板11%、棒・線9%、管6%、形5%の順である。また、技術分野で見ると数値解析が30%と急増しており、以下、制御・システム17%、基礎理論14%、設備13%、操業11%の順である。

コンピューターの小型化、高速化が進み、有限要素法(FEM)の登場により、材料の3次元流れを解くことができるようになった。板材は勿論のこと、型材、棒・線材、管材等についても加工圧力・荷重・トルク、メタルフローを求めることが可能となり、有効な解析ツールと認知されている。今後、加工温度解析や材料組織変化をも含めた統合加工理論へと進展が期待される。

また、変形抵抗は圧延理論を実際問題に組み込んで荷重やトルクを高精度で計算する際の重要な物性値である。圧延理論部会を共同研究の場として、我が国の研究が際立って充実しており、データの集積と数式モデル化が進められてきた。熱間変形抵抗では多パス高速連続加工での累積歪み効果を考慮した変形抵抗式が細粒鋼開発に不可欠である。今後は硬化、回復、再結晶等の現象を同時にフォローできる理論体系と合

金成分に対応した冶金現象の定量化データの蓄積が望まれる。冷間変形抵抗では、ハイテン対応で $\epsilon=10^{-2}\sim 10^3$ レベルで容易に応力-歪み線図がとれる高速材料試験機が実用化されている。

更に、加工工具の進歩も著しい。ハイスやセラミックの新材質研究に加え、めっきや溶射といった表面被覆での工具特性の向上は加工技術の飛躍に欠かせない重要基盤技術であり、更なる発展が期待される。これら共通技術の進歩に支えられて各製品加工技術の進展があり、以下の節で詳述される。

さて、この間に社会環境は大きく変化した。大量生産、大量消費、大量廃棄から、世界の人口急増と相まって、天然資源の枯渇や環境悪化の深刻な問題が顕在化してきた。人類が21世紀も持続的な発展を遂げるために、地球環境負荷の少ない資源循環型社会の構築が迫られており、科学技術の更なる発展で克服する以外に道は無さそうである。

平成13年の科学技術基本計画でライフサイエンス、情報通信、環境、ナノテクノロジー・材料、エネルギー、製造技術、社会基盤、フロンティアの8分野で重点化戦略を打ち出し、5年間の研究開発の目標及び推進方策を明確化した。特に製造技術では「21世紀も製造技術は我が国の生命線であり、経済力の源泉である」との認識の下、①製造技術革新による競争力強化、②製造技術の新たな領域開拓、③環境負荷最小化のための製造技術、を重点領域に設定した施策が推進されている。①では、CAD、CAM、CAE等のコンピューターを駆使した飛躍的生産性の向上あるいはニアネットシェイプ化とレーザー等の活用や複合加工によるブレイクスルー型革新的プロセス開発である。②では、マイクロ化、複合高機能化等の先端技術による高付加価値製品や少子高齢化社会での安全・安心を保証する住宅、交通、医療機器等の開発である。③では、鉛フリー、クロムフリー、ダイオキシソフリーといった有害物質極小化技術と省エネルギー、新エネルギーによる地球温暖化対策技術である。鉄鋼業は環境にやさしい製品開発は勿論のこと、得意の高温燃焼・溶融技術を活かした廃棄物リサイクル事業にも進出している。また、太陽電池、水素貯蔵技術、燃料電池、風力発電等に材料開発・加工技術開発で取り組んでいる。

以下加工分野の方向を要約すれば、「大量生産・大量消費時代」から「資源循環型社会」へのパラダイム転換に対応して

表3.1 圧延理論部会10年の活動状況(H6/11～H16/6)

回	開催地	発表件数					参加人数			
		特別講演	大学	鉄鋼	重工電気	合計	大学	鉄鋼	重工電気	合計
101	愛知製鋼	1	0	13	4	18	5	114	39	158
102	NKK福山	1	2	15	2	20	4	104	41	149
103	東芝	1	0	9	5	15	3	69	67	139
104	川鉄水島	1	1	14	3	19	3	131	37	171
105	IHI	1	0	16	3	20	1	77	53	131
106	日新呉	1	1	13	0	15	5	87	33	125
107	NSC八幡	1	1	11	3	16	5	83	30	118
108	富士電機	1	1	11	2	15	4	65	50	119
109	住金和歌山	1	1	10	4	16	5	76	19	100
110	神鋼西神	1	1	10	2	14	3	71	25	99
111	川重神戸	1	1	9	2	13	2	45	29	76
112	大同特殊鋼	2	1	10	2	15	5	58	18	81
113	NSC大分	2	0	9	2	13	3	59	23	85
114	MHI広島	2	2	7	3	14	8	55	42	105
115	NKK京浜	2	0	9	2	13	5	66	25	96
116	川鉄千葉	2	3	7	1	13	8	84	19	111
117	三菱日立	3	1	7	2	13	5	38	32	75
118	NSC名古屋	3	1	8	1	13	9	79	19	107
119	愛知製鋼	2	1	12	1	16	6	88	17	111
120	JSP	3	1	8	3	15	6	66	48	120

1. 形づくりから強度・靱性・耐食性等材料機能を飛躍的に向上させたりサイクル容易製品を最小限のエネルギーで創製する加工技術（新加工法、複合加工、多軸加工、超精密加工、工具フリー加工等と材質制御）
 2. 研究開発ではシミュレーション活用（バーチャルトライ）による実験の大幅削減（コスト&時間）という効率追求。逆に原点に戻り、手作り装置・手法による人間の感性を重視した開発
 3. 基盤技術としての工具特性の飛躍（ここが大抵ネック）と地球に優しい潤滑技術の開発（ドライ、セミドライ、環境潤滑等）
- となろうか。欧米に負けない日本得意の製造技術の基盤として加工技術を何とか堅持したい。技術発展の最後の決め手は材料である。材料創製加工技術の知恵出しが1つの突破口である。

3.2 加工基盤技術の進歩

3.2.1 変形の理論解析

圧延における理論・数値解析は、他の加工分野同様、一種の道具として現場サイドでも利用されるようになってきており、板圧延のみならず棒、線材、型材、管材圧延に対して、製品の寸法精度と形状の予測、被圧延材の材料流動、荷重・ひずみ・温度分布等の解析、ロール弾性変形との連成解析とその製品への影響の解明、製品の材質・組織・残留応力等の予測、圧延条件の最適化、圧延設備の合理的設計などに適用されている。最近では3次元有限要素解析（FEM）の応用が急速に進んでいる。特に、日本の圧延技術が理論をベースにして発展を続け、世界を常にリードしてきたことは周知の通りであり、今後も圧延分野への理論解析の貢献は重要である。

1980年代後半以降、板圧延解析は、3次元FEMが主力となりロールの弾性変形解析と組み合わせて、板クラウン・エッジドロップの詳細な予測およびその制御、板形状制御の高度化、圧延機・圧延設備の効率的設計支援等に利用され今日に至っており、ほぼ実用レベルに達しているといえる。もちろんタンデム圧延への適用や左右非対称圧延、蛇行の解析も試みられている。板の変形解析には3次元剛塑性FEMが普通用いられているが、計算時間が短く、現象の理解が容易な擬似3次元解析法の提案もある。一方、圧延後の残留応力が問題となる場合やスキパス圧延等には剛塑性ではなく弾塑性で考える必要があるが、3次元弾塑性FEMは、まだ計算時間、解析精度等に問題がある。

熱間圧延の分野では、材質・予測制御が重要であり最近では、3次元FEMを利用してこの両者を統合する圧延加工統

合解析モデルの開発が進んでいる。そのモデルは図3.1に示すように、(1) 3次元変形解析モデル、(2) 3次元温度解析モデル、(3) 材質予測モデルを連成し、(4) 冷却/変態モデル、(5) 内部組織・機械的性質予測モデルよりなっている。超微細粒鋼の開発プロジェクトでもそのモデル化が取り上げられ成果が期待されている。

圧延製品の製品品質や操業効率を著しく損なう表面疵は、古くからその場しのぎの解決策がとられてきたが、原因を理論的に早期に発見して解決できるようにするため、疵の変形解析システムを開発する研究会が日本鉄鋼協会に設置され成果をあげている。圧延材の体積に比して疵部は非常に小さいため、解析には工夫が必要である。図3.2は結果の一例で、幅方向に存在した矩形疵を圧延したときの変形過程を示している。

アルミニウム圧延の分野では、集合組織予測シミュレーションが開発され、成形性の優れた圧延板の製造に使われようとしている。これは、3次元剛塑性FEMと結晶塑性モデルを組み合わせ、FEMで得られる速度場より結晶回転を求め、集合組織の変化を計算するもので、図3.3に解析例を示

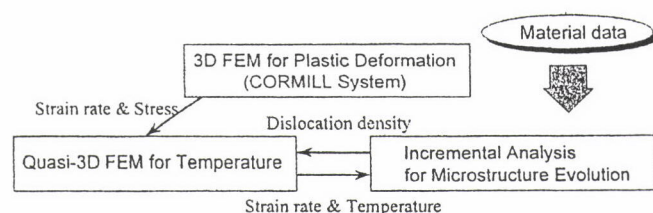


図3.1 熱間加工における材質予測法 (ISIJ Int., 40 (2000), 65.)

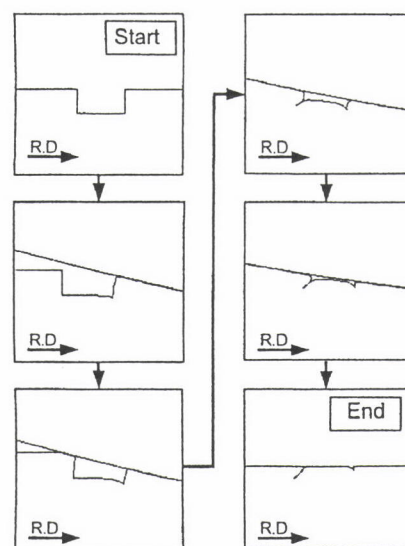


図3.2 板圧延における矩形表面疵の変形解析 (鉄と鋼, 89 (2003), 1142.)