

ミニ特集・1 夢の金属

超微細組織制御のブレークスルー から生まれる超鉄鋼

長井 寿

Kotobu Nagai

科学技術庁 金属材料技術研究所
フロンティア構造材料研究センター ユニットリーダー

Design for Ultra Steels via Breakthrough in Creation of Ultrafine Microstructure

1 使われてこそ材料

「材料」は、「ものをつくる・考えるもととなるもの」と辞書に書かれている。「いい材料」かどうかは、「ある特定の製品などに利用するために好都合な材料」かどうかにかかるところが、思わぬ落とし穴がある。

キュウリをたとえに出してキュウリに悪いが、「真っ直ぐなキュウリしか市場価値がない」という情報がインプットされると、以下のような事態が実際に起こりえるが、実は笑えない。

まず、我々研究者は様々に「真っ直ぐなキュウリ」を作ろうとする(図1)。ところが客観的な比較ができないので、次に「キュウリの真っ直ぐ度の評価法と基準」を策定する。そうなれば、ますます開発競争が激化する。そして、「真っ直ぐ度、99%達成」、「真っ直ぐ度、99.9%時代に」、…、「究極の真っ直ぐ度99.99%に到達」という風に、自己発展を遂げるようになる。相当な努力と資金が投入され、その結果、豊富な実験事実の蓄積と技術の発展が起こる(「ように見える」だけとは思いたくない)。

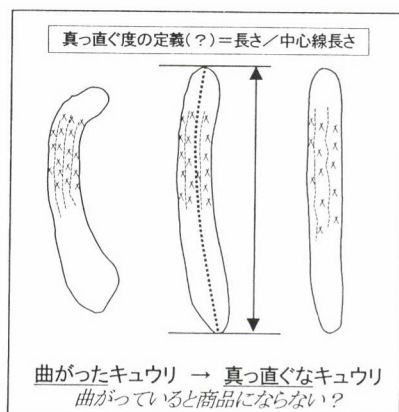


図1 真っ直ぐなキュウリを作る

さて、店頭に「真っ直ぐ度99.99%のキュウリ」が並ぶ。しかし、消費者は手に取り感心し珍しがるだけで、買おうとする者はいない。値段も高い。その内に、産直とか申して、「安くはないが、曲がっていても自然農法で安全で昔の味…」という商売が現れて、「真っ直ぐなキュウリ」の市場性は一気に狭まる。経営者はこう言う。「ほっといてもキュウリは育つ。一番儲かるものはなんだ。真っ直ぐなキュウリは即刻止めてしまえ。」

さて、研究者は困る。「真っ直ぐなキュウリ」には、選別がし易く、パックし易く、もしかしたら料理もし易いかもしれない。「真っ直ぐなキュウリ」自体が悪いわけない。「真っ直ぐなキュウリがいい」と言われたから作った。「99.99%の真っ直ぐさ」は到達点そのものである。コスト感覚がないと言われるがそんなことは最初から分かっていた。目標は「真っ直ぐ」だけだったのだから、今さら言われても困る。だが、ほざいても、お終い。

「使われてこそ材料」である。「ある特定の製品などに利用するために好都合な材料かどうか基本」に戻らざるを得ない。

それでは、材料が進歩し、製品を進歩させることを否定するのかという批判が聞こえそうである。その批判に反論する気は全くない。ものごとには作用と反作用があるという簡明な物理法則をそのまま理解することが、意外と難しいと反省しているだけである。

2 「鋼の時代」にも段階がある

鉄は人類の歴史と共にあるというのも頷けるが、それだけでは技術史観として有用なものは引き出しきれない。鋼が構造材料となるためには、大量にかつ安価に鋼が生産できるベッセマーの製造法の発明(1856)が必要だったのではない。その後ほぼ100年経って、LD転炉(1952-3)が発明

され、より高品質な製錬鋼の高効率な生産が可能となり、現在の「鋼の時代」が完成したと見たい¹⁾。

これらの新技術は、既存技術を乗り越える形で世界を席卷していく。ベッセマー鋼は錬鉄をしのぎ、LD転炉は平炉を駆逐した。乗り越えられた既存技術は振り返ってみれば無力なものとして映るが、決して長所がない技術ではなく、むしろ当時は最先端技術もしくは成熟技術として受け入れられていたものである。

また、新しく供給された鋼には大きな潜在的な需要があった。ベッセマー鋼は、それまで錬鉄で作られていた鉄道、橋などに新材料として使われ、産業革命のいっそうの発展を産み出した。LD転炉鋼は連続鋳造、加工熱処理技術などの発展と相まって、それらが使われた自動車や機械などの飛躍を産み出し、戦後の高度経済成長の基礎となった。

リダンダントな言い回しで申し訳ないが、物質の持つ優れた性能を実際に活かす(=使う)ためには用途が必要で、その用途がなければ優れた物質の死蔵になってしまう。使われてこそ材料であり、素材技術だけがひとり発展することはない。だが、開拓された優れた性質ないしは知見が新たな胎動のもう一方の源泉となりえることも疑いはない。新しい可能性への挑戦は、一見無目的に見えてもその経験が正しく継承されれば人類と社会の未来にとって大いに役立つものとなりえる。

卓抜した発明家、起業家であるベッセマーは、既存の錬鉄を置換するための新技術を自宅の実験室で発明し、需要家達が彼の発明を利用し鉄鋼産業を新興した。LD転炉関連技術は、民間の組織された研究から生まれ、既に自立した鉄鋼産業自身がそれを発展させ、需要家のニーズに応える素材を産み出した。現在の鋼は、個人から生まれ、鉄鋼産業を興し、ついには多くの産業基盤を支える素材となった。今では既に鋼は人類共有の財産となっており、鉄鋼生産関係者のみの専有物ではない。

3 新しい「鋼の時代」はどう始まるか

鋼は人類の共有財産である。鋼がなければ生きていけない。だが、空気、水などにはありふれていて大事にされなかった。「大根よりも安い鉄」と自慢したが、それは一側面の自慢にしかない。「安いから大事」であるわけがない。鉄は「生きていくのになくてはならぬものであるから大事」という認識が人類の共通のものとならなくては、「鉄は大事」にならない。

最近では水も大根並の値段に「高くなった」ようだし、「新鮮な空気」のために金を払うようになった。何故か。水も空気も汚れたからである。汚れた水や空気は人間に

にとって有害という認識が広がったからである。誰が汚したのか。人間である。地球限界を人類は侵しつつある。空気も水も地球が作ってくれたものだし、地球の自然メカニズムの中には、それらを浄化したり、分解・再生する仕組みがある。今、そのバランスを壊しつつある。

あるべき姿を模索し、地球限界の中での持続可能性を考える段階に至っている。鉄はセメントと共に人類創造の二大人工材料である。我が国における全使用量(重量)の約45%が鉄であり、セメントである(図2)。セメントは石の代わりに使われ、鉄は木材の代わりに使われた—最初の頃の蒸気機関についての本を読んでいて驚いたことがあるが、蒸気溜は木樽だった。車輪は木製だった。キャビンも木製だった。これらはすべて鉄で置換された—

強さ、しかも引張強さ、良撓性、加工性などの木材特有の性質をカバーし、高い弾性、不燃性、不変性、加工精度などの性質を加えたものとして、金属、特に鉄が大量に使われるようになり、独自の世界を形成した。

これからの材料に求められる性質で最も重要なものは、再生可能性である、と思う。これはリサイクル性とほぼ同義語だが、リサイクルできるかというより、同じ用途に自在に戻せるかどうかが本質的に重要である。そういう意味では金属はまだまだである。また、地球への賦与量の豊富さも重要である。

一般には、金属の再生可能性は潜在的には高い。現在の鉄ほどの多彩な需要を将来持つようになる金属としては、資源の豊富さなどを勘案すればチタンしかない。しかし、供給可能性を考えれば当分は鉄が活躍しなければならない。少なくとも21世紀ではその役割に絶対的な変化はないと考えられる。セメント、もしくはコンクリートの再生可能性の発展につまずきがあれば、その一部を鉄が置換せざるを得なくなるだろう。逆もまたしかりである。

最大の人工材料である鉄が、人工的な再生可能性²⁾を持った時に、空気や水の仲間入りをし、地球限界の中での

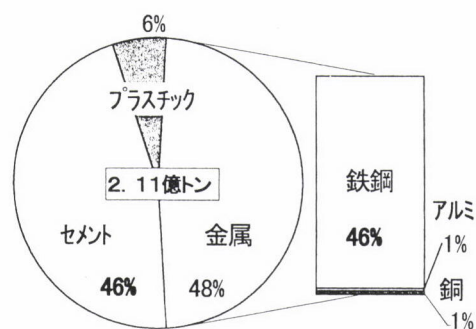


図2 我が国における各種材料生産量比較(重量、1994)

持続可能社会の下支えに不可欠な、いわば絶対的価値を持った「大事な」材料になると想像する。

「気体＝空気、液体＝水、固体＝鉄」という自然認識ができるためには、もう一つ、より「鉄は万能」にならなくてはならない。(真実ではないが)「鉄があればなんでもできる」という認定が自然とされなくてはならない。

すなわち、まずは再生可能性、そして万能性が、新しい「鋼の時代」を切り開くキーワードではないだろうか。再生可能性と万能性を兼ね備えた鉄鋼を造ることができるかが、重要なポイントである。

4 微細組織制御でブレークスルーを

鉄の重要性は21世紀以降も変わらない。隣国中国などの経済発展には莫大な量の鉄が必要であり、国際的な基盤産業としての位置づけも変化しない。しかし、地球環境問題の激化を回避するためには、今のままの鉄技術体系では済まない。「環境負荷およびトータルライフコストを上げず」鉄器文明を維持していくためには、「強度2倍化、寿命2倍化」の超鉄鋼が、21世紀以降に求められる鉄鋼材料のキーワードとなる。それに見合った飛躍的な前進を図るには、インクリメンタル研究の蓄積に依ることでは間に合わず、思い切ったブレークスルー研究を行う必要がある。すなわち、「使われてこそ材料」の精神の具現化のために、産学官の英知を結集し、鉄のユーザー等との連携を基礎にして、次代に求められる材料創製技術―二次加工技術と評価、解析技術を総合化した新技術体系の開発こそが求められる。(《このような観点から超鉄鋼プロジェクト³⁾(第1期5カ年、平成9年度～13年度)は始められた。筆者は、プロジェクトの4課題の内の通称「800MPa」課題を担当している。「800MPa」では、リサイクル容易、溶接容易組成である400MPa級軟鋼を結晶粒微細化により強度を2倍化し、かつその素材性質が溶接継手においても十分利用できるような接合法の開発を合わせて研究している。当然、素材、継手の諸特性の評価、シミュレーション技術も同時に進めている。))

材料創製技術には前述の再生可能性と万能性に繋がる挑戦が求められるが、たやすいことではない。再生可能性を最大限考慮し、万能性を賦与するためには、合金元素の働きに過度に依存せず、鉄鋼の組織可変性を最大限引き出すことをまず思いつく。

大先達 故田村今男京都大学名誉教授は「鋼の加工熱処理に関する所見⁴⁾」の解説において、「塑性加工の目的は大抵の場合“成形”である。しかし、塑性加工によって材料は大抵の場合加工硬化を起こし、材質的な変化が起こる。それゆえ、塑性加工を材質の改善に利用することができる。

…塑性加工の大きな目的のひとつに材質改善を大きくかかげたいと思う。」と宣言された。極めて先見的示唆的なお言葉で、確かに「制御圧延・制御冷却」技術など大きく進歩を遂げたものがあるが、25年を経た現在、果たしてこの提起に応え尽すことができたのだろうか、と自問する。もう一度、塑性加工をどこまで材質制御に活かせるかに挑戦してみたい。

すなわち、組織制御技術の理想は、合金元素の使用を最小限に抑え、自由自在に金属組織を造り込んで、所定の性質を思いのままに制御することである。それができれば、リサイクル阻害合金元素を使わず、簡単なひとつの合金系で自動車の各部材を作り分けるといったような芸当ができることになる(図3)。

特に、結晶粒径をできる限り細かくすることは、強度を上げ、靱性を高める有効な手段である。この観点から結晶粒微細化は旺盛に取り組まれてきたが、5ミクロン以下の超微細粒領域は未踏であり、1ミクロン程度まで微細粒化できれば、強度、靱性のバランスをさらに大幅に改善できる可能性があることも分かっていた。しかし、超微細粒組織の造り込みは「高エネルギーが必要で、既存設備では対応できない」高い壁と認識されていたし、1ミクロン域のバルク微細粒組織を造り込むことは難儀だった。

この壁を破れないものだろうか。しかも、一般溶接構造用鋼の中で、単純組成かつ低合金で、需要も多く、スクラップ発生量も多い鋼種である「軟鋼」に適用できないだろうか。現行の10～20ミクロン程度のフェライト粒径を1ミクロン前後まで微細化できれば、強度が2倍(800MPa級が展望される)になり、靱性も飛躍的に改善される⁵⁾(図4)。その結果、「駄もの」が一躍「チャンピオン」に生まれ変わることになり、焼もどしマルテンサイト鋼に匹敵する強度―靱性バランスを有するフェライト鋼が出現することになる。スクラップ発生が増加し、省資源・省エネルギーがますます厳しく求められる21世紀における社会インフラ更新の

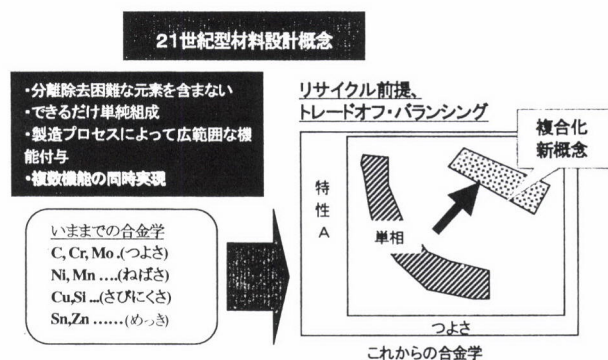


図3 21世紀において求められる材料設計概念

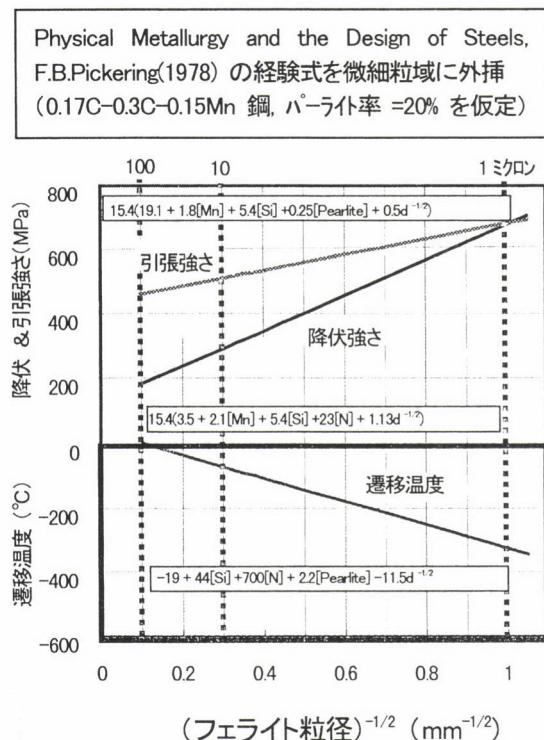


図4 微細粒域における強度、靱性を従来データから外挿してみ (従来データは10μm以上の領域)

ための新材料としては打ってつけである。しかも、中間の任意粒径に造り込めば、400MPaから800MPa級までをひとつの化学組成で使い分けることも可能になる。

このような観点から、超微細粒鋼の造り込みのために、もう一度、塑性加工による組織制御を見直してみたい。塑性加工による金属組織の幾何学的因子を定量的に制御し、それがそのまま組織制御技術に適用できれば極めて分かり易く、様々な可能性を汲み尽くしていく上で有力なツールとなる。強度や遷移温度など機械的性質が、結晶組織の幾何学的因子で第一義的に左右されるということであれば、塑性加工による組織の幾何学的因子制御は、そのまま機械的性質設計に連結する。これを統合した姿が、筆者のひとつの理想像である。

5 微細粒組織鋼への懸念

ところが、材料固有特性にだけ目を奪われると単眼的になり、「最小結晶粒、最高強度」の追求になりがちである。そのこと自体に問題があるというわけではない。ところが、「使われてこそ材料」という観点で、材料が実際にどう二次加工され、最終的にどういう使われ方をしているのかに目を向けると、ここにも大変な問題が山積していることになる。そのような「二次的課題」を「二次的」と扱うのか、「一次的」課題に入れ込むのかで、研究開発の姿勢が異なっ

てくる。

複眼的視点、もしくは総合的観点による材料の研究開発というのは、今後、我が国の材料研究にもっと取り入れられてしかるべきである。例えば、たとえ高強度を持つ材料が開発できてもそれが使用環境で遅れ破壊をするようでは実際には使えない。遅れ破壊の原因因子を使用環境から取り除くというアプローチも可能だが、「耐遅れ破壊強度に強い高強度材料の開発」という視点を持つか、「遅れ破壊は忘れて、とりあえず高強度追求」という視点を持つかが、岐路である。結論的に言えば、両者とも不可欠な研究アプローチであるが、前者の観点が我が国では弱すぎるというのが筆者の実感である。

例えば、「強度が高いほど延性が落ちる」という教科書が多いが、研究開発現場では「高強度－高延性材料が開発」される。これは本質的な矛盾である。学問体系として、前者に軸足を置くのか、後者に軸足を置くのかで、「役に立つ学問かどうか」の岐路となる。後者に立脚した学問体系こそ本来求められているものである。単純化して言えば、トレードオフ関係にある諸性質のバランス改善指針の探求が必要となっている。

それでは、微細粒組織にあるトレードオフは何か(数多ある中でもしくはどの問題までとりあえず対象とするのか)を表1にまとめる。強度以外の機械的性質とのバランス、微細粒組織の熱的安定性の確保が主要な課題である。

6 超微細複相組織でトレードオフ・バランス改善のブレークスルー

表1に明らかなように、微細粒化に伴って悪化が懸念される諸性質の保証を得る上で、第二相をうまく利用する(超

表1 微細粒鋼への期待と懸念、対応策

機械的性質への期待と懸念			
	期待	懸念	対応
強度	$\Delta YS \approx 400 \text{ MPa}$	高降伏比	硬質相導入
延性	高絞り値	一様伸び低下	(硬質相導入) (高歪硬化率)
靱性	$\Delta vTrs \approx 200 \text{ K}$	上部棚エネルギー低下	高歪硬化率
疲労	$\Delta FL / \Delta TS = 1$	き裂伝播抵抗低下	(軟質相導入) (セパレーション利用)

「複相化は不可避」

熱安定性・熱履歴変化への懸念		
到達温度	懸念	対応
α 域	(加工)転位一回復・軟化 α 粒→成長・軟化	→ 低転位密度 → ピンニング
$\alpha + \beta$ 域	分散逆変態 $\gamma \rightarrow \alpha$ (M)	変態・微細化・ピンニング
γ 域以上	成長 $\gamma \rightarrow \alpha$ 変態・軟化 ヘイ付変態 マルテンサイト変態	第二相粒子分散 γ 粒成長抑制 α 粒内変態核

「分散粒子・複相化」は不可避

微細複相組織)ことが必要と思われる。したがって、組織設計のコンセプトを整理すると表2のようになる。

超鉄鋼プロジェクトは、第1期5カ年の中間点を過ぎた時点であるが、産学の研究者の大いなる貢献の賜物、いくつかの注目すべき結果が得られている。

6.1 微小サンプルで基礎研究

まずは、1ミクロン程度の超微細粒組織を造り込めるかどうかである。加工熱処理シミュレーターを用い微小サンプルで、変態利用と再結晶利用の2ルートで造り込みプロセスを検討したが、図5のように、とにかく、1ミクロン以下の組織創製は可能で、ほぼ結晶方位ランダムな等軸粒組織を実現できる可能性も明らかにした⁶⁾。

何よりも、単一の化学組成で、しかも特定の合金元素の助けを借りず、フェライト+炭化物(一部パーライトの場合もある)組織鋼で、0.5ミクロンまで微細粒化すれば、ビッカース硬さで $Hv=150\sim300$ の任意の硬さを実現できることを示したことである⁷⁾(図6)。これは、強度の観点から見れば、合金元素量を変化せず、微視組織制御だけで性質を広範囲に造り込む戦略の基本的正しさを実証した。

6.2 引張試験、フルサイズのシャルピー衝撃試験を実施

材料製造の寸法を大きくしていくことは、いばらの道の

表2 組織設計の基本コンセプト

化学組成：低C-Si-Mn鋼、その他の合金元素を含まないことを原則に	
微細フェライト主相 超微細複相組織	
微細フェライト組織の実現	1ミクロン以下
微細分散第二相の利用	微細パーライト炭化物粒子 酸化物粒子
1) 降伏強さ、引張強さ2倍化 2) 低温でも脆性破壊しない 3) 母材疲労強度の大幅向上 1) 歪硬化率上昇による一様伸び改善 2) α 、 γ 域での粗大化抑制 3) $\gamma \rightarrow \alpha$ 粒内変態促進	

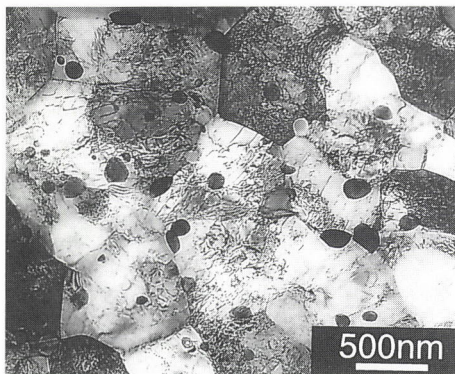


図5 微細粒鋼のTEM組織の一例
(フェライト+セメントイト組織)

ように厳しい(ようだ)。微小サンプルで実現できた微細組織を、全く同じ加工熱履歴で実現することはほぼ不可能に近いと言って過言ではないと感じるようになったのは、このようなプロジェクトに参加できたお陰である。しかし、なんとか基本的な考え方を貫き、12mm角棒材ではあるが、フルサイズのシャルピー試験片を採取できる製造方法を見つけだした⁸⁾。大きな素材ができなければ、機械的性質を知ることができない。

6.2.1 一様伸びの改善⁸⁾

微細粒鋼の悪夢と言われた一様伸びの小ささおよび高降伏比の改善は、炭化物の量、分散度合い制御によって歪み硬化率を増加させることにより、ある程度可能であることが示せた。図7に、同様の製造方法ではほぼ同じフェライト

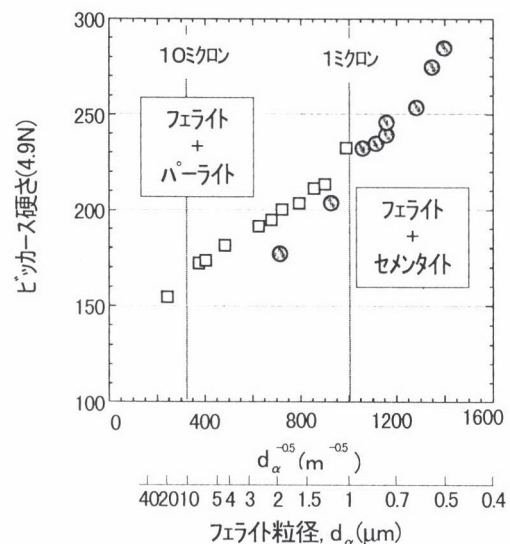


図6 SM490相当鋼のひとつの成分(0.16%C-0.4%Si-1.4%Mn鋼)から造り込んだ微細粒組織のビッカース硬さ

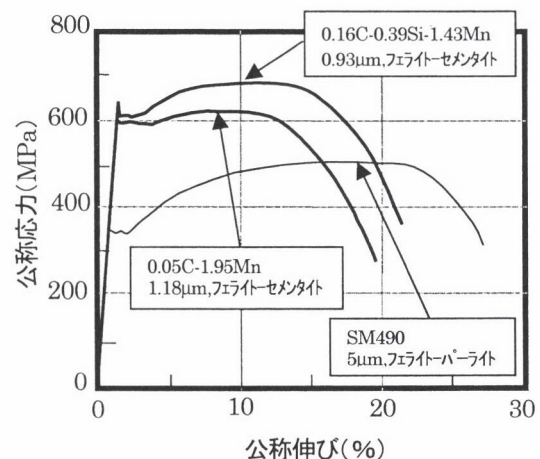


図7 微細粒鋼の公称応力-公称伸び曲線の例

粒径に造り込んだ二つの鋼、すなわち0.05%C-2.0%Mn鋼と0.15%C-0.3%Si-1.5%Mn鋼(SM490相当鋼)の荷重-伸び曲線を比較して示すが、0.15%C鋼の方が、引張強さも最高荷重点までの伸び(ここでは、これを一様伸びとしている)もすぐれている。強度も延性も同時に改善できるひとつの実例である。

得られたデータの数はまだわずかだが、強度と延性のバランスは、図8に示すように、旧来の焼もどしマルテンサイト鋼に匹敵し、悪夢は解消している。より高強度の場合にも同傾向の結果が得られるかどうかは今後期待される。

降伏比はここで示した限りではまだまだ高い段階であるが、十分に工夫の余地があると考えている。

6.2.2 遷移温度⁶⁾

フルサイズのシャルピー試験の結果はいささか衝撃的であった。通常のSM490相当鋼の遷移温度は零度よりわずかに低い程度であるが、図9に示すように、フェライト粒径の微細化と共に顕著に遷移温度の低下が認められた。しかも、

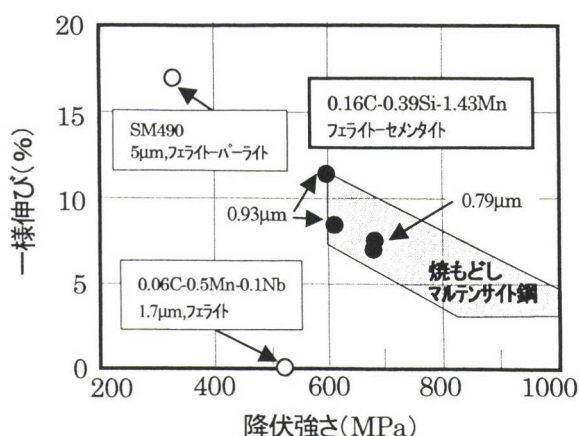


図8 微細粒鋼の強度-伸びバランス

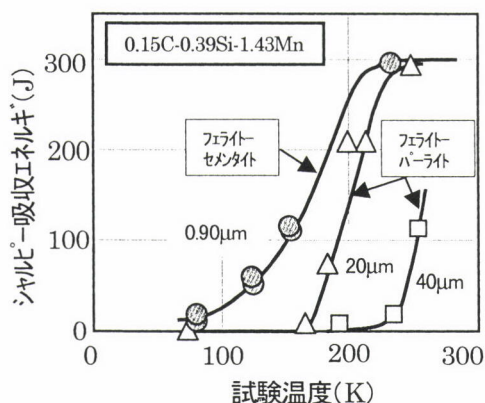


図9 微細粒化によるシャルピー吸収エネルギー-遷移曲線の変化

上部棚エネルギーも決して低い値ではない。

微細粒化によって、強度-靱性の同時改善が可能であることは周知の事実であったが、旧来のフェライト系鋼での到達範囲をはるかに突破した結果となっている。

脆性破壊様式はへき開破壊によるものであり、そこで、焼もどしマルテンサイト鋼で提唱された“有効破面単位”の考えで結果を再整理したところ、今回の結果はほぼ焼もどしマルテンサイト鋼における有効結晶粒径-遷移温度関係に乗ることが判明した。

このように、フェライト-パーライト鋼を出発点として、今までは焼もどしマルテンサイト鋼が使われていた強度レベルの超微細粒フェライト鋼に造り込んだところ、その諸性質はあたかも焼もどしマルテンサイト鋼に同等という結果が今のところ得られている。この鋼種がよりいっそう成長すれば、焼もどしマルテンサイト鋼をこの強度レベルにおいて追いつき、追い越すというのに近い将来実現するのかもしれない。

6.3 溶接熱による微細組織の破壊

超微細粒鋼の最大の敵は、溶接熱による破壊、粗大化であろうと誰もが想像している。焼もどしマルテンサイト鋼の溶接熱影響部(HAZ)では、軟化域が生じてオーステナイト域まで加熱された領域では冷却時にマルテンサイト変態し軟化することはないので、軟化はあまり大きな問題とはならない。しかし、焼入れ性の低い化学組成である軟鋼ではHAZのほぼ全域が軟化域となると想像される。いかに軟化度合いを小さくするか、もしくはHAZ幅をできる限り狭くするか、という対症療法が必要となる。

図10は得られた超微細粒サンプルに溶接模擬予備実験を行った結果⁹⁾である。入熱を変えて、HAZの軟化度合いを調査したものである。入熱が小さいと軟化度は小さいが、入熱が大きくなるにつれて軟化幅、軟化度合い共に増大する。

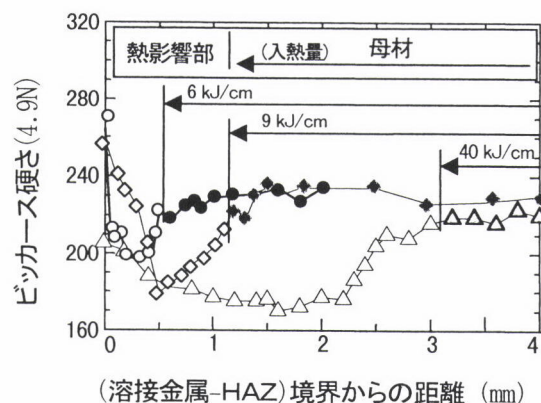


図10 溶接熱影響部における軟化度合いの検討(微細粒サンプルの溶接模擬実験)

やはり、程度の差があるが、軟化は避けて通れないようである。ひとつは、軟化を抑制する方策を検討してみる必要がある。

もうひとつの観点は、溶接施工技術の革新である。新しいアイデアで、開先幅を5mm程度にし、20mm厚の鋼板を2パスで高効率にアーク溶接する基礎技術を開発し、その高度化に同時に取り組んでいる。この方法では、HAZ幅を2mm以下に押さえることができる可能性が示されている¹⁰⁾。

軟化の度合いの制御、軟化域の狭隘化・位置制御、溶接金属のオーバーマッチ具合の制御などの総合的な検討によって、母材強度水準の継手強度を保証すること、さらに継手靱性の保証などの基礎検討も合わせて進めている。

7 展望

第1期5カ年(平成9年度より13年度)の折り返し点での現状を粗っぽく紹介させていただいたが、概ね計画通りに研究は進行していると思う。5カ年の所期の目標は、1ミクロン以下の微細粒組織を持った10mm厚以上の板材を造り、それを開発接合技術で接合し、継手強度、靱性を保証することとなっている。

その意味では、焦眉の課題は板材の造り込みである。棒材では1ミクロン以下の微細粒組織を持った15mm角以上の素材の造り込みに挑戦中であり、既に得られた12mm角素材等を対象として接合研究等を進行しているところである。この面での検討結果は着々と蓄積していくものと期待している。棒材で行っているのと同様の加工熱処理アイデアを板材に適用することはラボ的にはそんなに難しいこととは考えていない。早々に1ミクロン以下の微細粒組織を持った10mm以上厚の板材を造り上げ、第1期5カ年の目標を達成するための“本格的”な研究＝“スパイラル研究”を文字通り実行しなくてはならない。

スパイラル研究の精神は、同一素材について、材料創製－接合－評価の三分野の研究者がそれぞれの見地から、自らの水準を高め、問題点を克服すると共に、他の分野への注文情報を積極的に発信し、材料に求められる総合的な要求を集団で解決していく研究メカニズムである。当然、注文は研究主体の内部からだけでなく、外部から注入されることも期待され、奨励されている。

想定される第2期は、第1期で絞り込まれた方案をより実規模に近い素材レベルで検討し、実用化に橋渡しする

「応用前総合研究」となる。「800MPa」課題では、25mm以上厚の板材の製造法開発、より高効率高信頼性の新現場接合法の開発、大型試料による変形、破壊試験などを中心としたスパイラル研究を実施することが考えられる。

その中でも特に大型板材の製造法については、さらに検討すべき課題が山積している。いかに経済的に高機能の材料を作り上げるかという視点に尽きるが、恐らく、塑性加工分野、設備技術分野と材料分野の研究者、技術者の共同した大きな挑戦課題となると考えている。既存のプラントで可能な方案、既存のプラントの一部改造で対応できる方案、全く新しいレイアウトのプラントの創設で対応する方案などを総合的に検討すべきではないかと思われる。三番目の全く新しいレイアウトということになれば、さらに溶解・凝固・ casting の分野との密接な連携が不可欠となるのは必至である。

すべてのことは研究が成功し、かつ新素材のニーズがあってこそ話である。その意味では、想定ニーズの設定を厳密に管理することが最も大事とも言える。研究に参加している研究者が狭視野状態に落ち込まないように、最後までスパイラル研究精神を最大限発揮することがこのような研究プロジェクトの成否を握っていると思う。

参考文献

- 1) 例えば、ヘンリー・ベッセマー著、中澤護人、田川哲哉 訳：ベッセマー自叙伝，日鉄技術情報センター，(1999)
- 2) 長井 寿：環境管理，33 (1997)，1150.
- 3) 佐藤 彰：ふえらむ，3 (1998)，88.
- 4) 田村今男：塑性と加工，16 (1975)，751.
- 5) F. B. Pickering 著，藤田利夫，柴田浩司，谷野 満 訳：鉄鋼材料の設計と理論，丸善，(1981)
- 6) 花村年裕，中嶋 宏，鳥塚史郎，津崎兼彰，長井 寿：CAMP-ISIJ，12 (1999)，451.
- 7) 鳥塚史郎，高橋順次，梅澤 修，津崎兼彰，長井 寿，源田悟史，向後保雄：CAMP-ISIJ，12 (1999)，365.
- 8) 林 透，梅澤 修，鳥塚史郎，三井達郎，津崎兼彰，長井 寿：CAMP-ISIJ，12 (1999)，385.
- 9) 伊藤礼輔，川口喜昭，志賀千晃：溶接学会全国大会講演概要集，64 (1999)，204.
- 10) 中村照美，平岡和雄：溶接学会全国大会講演概要集，63 (1998)，82.

(1999年8月10日受付)