

報 告

1st JIM International Symposium "New-Aspects of Martensitic Transformation"

田 村 今 男*

Imao TAMURA

第1回 JIM 国際シンポジウム「マルテンサイト変態の新しい観点」(First JIM International Symposium (JIMIS-1) "New Aspects of Martensitic Transformation") が日本金属学会 (The Japan Institute of Metals (JIM)) 主催で昭和 51 年 5 月 10 日 (月)~12 日 (水) の 3 日間神戸の川崎製鉄西山記念会館で開催された。

筆者はこの国際シンポジウムの組織委員の一人でもあったので、鉄と鋼編集委員会からの依頼を受けてこのシンポジウムの概略を紹介し、印象を述べてみたいと思う。

2 年ほど前に、橋口隆吉(敬称略、以下同じ)が日本金属学会の会長であった頃、最近の金属学に関する重要問題をテーマとした国際シンポジウムを 2, 3 年に 1 度の割合で開催し知識の国際的交流をはかることを決め、その第 1 回としてマルテンサイト変態が取上げられた。その理由は、最近鋼およびその他の合金におけるマルテンサイト変態に関連した種々な重要かつ興味ある現象が次々と発見されその進歩が著しいこと、およびこれらに関する研究が外国だけではなく日本においてもきわめて活発に行なわれているからである。

組織委員会は荒木透、藤田英一、清水謙一、須藤一、鈴木秀次、田村今男(アルファベット順、以下同じ)によつて組織され、清水謙一が委員長となつて運営された。また、橋口隆吉、西山善次が顧問として組織委員会に加わつた。第 1 回組織委員会は昭和 49 年 12 月 7 日に開催され、それ以来種々な計画がたてられ、実施に移された。

この国際シンポジウムは American Society for Metals, Deutsche Gesellschaft für Metallkunde EV, Metals Society (ロンドン) および Société Française de Metallurgie の協賛を得て、次の 7 つの項目を主題目として論文が募集された。

1. マルテンサイト変態の機構
2. 鉄および他の合金マルテンサイトの熱弾性的性質
3. マルテンサイトの内部欠陥の起源と役割 (オーステナイトからの欠陥のうけつぎも含む)

4. マルテンサイト変態途中および変態後の機械的性質
5. マルテンサイト鋼の強化機構
6. マルテンサイトの逆変態
7. オーステナイトの安定化

その結果、15カ国から 74 の論文発表の申込みがあつた。また、招待講演として 10 論文が用意された。これらの論文はそれぞれの内容に応じて下記の 23 セッション分類され、2 会場に分かれて 3 日間で発表されることになつた。(括弧内は論文数)

1. 開会 (招待 1)
2. 50th Anniversary of Martensite (招待 2)
- 3, 4. Elastic Theory and Crystallography [I, II] (4, 招待 1)
5. Carbon Ordering and Intermediate Phase (4, 招待 1)
- 6, 7, 8. Strain and Stress Induced Martensitic Transformation [I, II, III] (10)
- 9, 10. Thermoelastic Transformation and Mechanical Behavior [I, II] (6, 招待 1)
11. Nucleation and Growth Mechanism (3)
12. Some Recent Topics of Martensite (招待 2)
13. Carbon Clustering and Intermediate Phase (取消, セッション 11 に合体)
14. Reverse Transformation (3)
15. Stability of Austenite (3)
- 16, 17. Pseudoelasticity and Shape Memory Effect [I, II] (7, 招待 1)
18. Internal Structure of Martensite (4)
19. Thermomechanical Treatment (取消, セッション 20 に合体)
- 20, 21. Strength of Martensite [I, II] (5)
- 22, 23. Premartensitic Phenomena [I, II] (7)

しかし、シンポジウムに参加できずに発表をとり下げたものがあり、実際には招待講演 9 と応募講演 56 が 21 セッションで発表された。また、取消したセッションを

* 京都大学工学部教授 工博

利用して, "What is Thermoelastic Nature of Martensite?" というパネルディスカッションが追加された. 実際の参加者は約 170 名で, そのうち外国からの参加者 19 名, 参加国はオーストラリア, ベルギー, ブラジル, イスラエル, スイス, イギリス, アメリカ, ソ連, およびベネズエラであった.

開会のセッションでは藤木俊三金属学会長の Welcome Address, 清水委員長の Opening Address および西山善次の Memorial Lecture が行なわれた. 西山は彼の長年にわたる研究をふまえてマルテンサイトの炭素原子位置方位関係, 内部組織, 核生成などの諸問題について展望した.

G. V. KURDJUMOV が Leningrad Polytechnic Institute を卒業し, マルテンサイトに関する論文をはじめて発表したのが 1926 年で, 本年はちょうどそれから 50 年に当たる. この 50 年の間にマルテンサイトに関する学問が急速に発展したが, KURDJUMOV の業績もまた非常に大きい. 日本金属学会では彼の業績を讃えて, 本年 4 月の大会の折に名誉員の称号を送った. MORRIS COHEN はこのシンポジウムを KURDJUMOV の 50 年を記念する行事にしてはどうかとの提案をした. そのようなことから "50th Anniversary of Martensite" というセッションが設けられた. このセッションで COHEN は KURDJUMOV の研究を展望した. また KURDJUMOV は鉄マルテンサイトにおける正方晶性 (tetragonality) の異常性と炭素原子の再配列に関する最近のソ連での研究結果を述べた.

マルテンサイト変態機構に関連する諸論文は上表 3, 4, 5, 11, 18, 22, 23 のセッションで発表された (13 のセッションは取消し). この分野は筆者の専門から離れているので詳しいことは述べられないが, マルテンサイト変態直前 (Ms 直上) で母相の格子に乱れがおこるといふマルテンサイト変態前駆現象, マルテンサイト核の発生および成長とそれらに影響をもつ格子欠陥やひずみエネルギーの問題, Fe-Mn-C, Fe-Ni-C, Fe-Al-C などに現われる正方晶性の異常現象を説明するための炭素原子の位置とオーステナイトからの変態途中で四面体位置をとりやすくする中間相のモデルあるいは (011) マルテンサイト双晶モデルなどが議論された. また, マルテンサイトの形態や結晶学的特徴およびマルテンサイトの変態双晶などに関する微細構造などについての論文が発表された.

熱弾性マルテンサイトの形状記憶効果や超弾性については上表 9, 10, 16, 17 セッションで発表され, また, "What is Thermoelastic Nature of Martensite?" の追加セッションで議論された. これも筆者の専門外であるが, 最近のきわめて面白い現象が発表された. すなわち Fe-Pt, Ni-Ti, Cu-Al-Ni, In-Tl, Cu-Sn, Cu-Zn などのマルテンサイト変態では, 変態の駆動力が小さく,

変態時の体積変化も小さく, そのため Ms-As の温度差が非常に小さい. このような場合には応力を加えることによつて容易にマルテンサイト変態が進行し, そのとききわめて大きな伸びを示し, 除荷すればマルテンサイトは消滅し原点にもどる (超弾性) ばかりではなく, 種々な特徴ある応力-ひずみ曲線を示す. また, このようなマルテンサイトに変形を加えて加熱すると変形前の形にもどり, しかもこれを繰返えしもほとんど完全に近い可逆性をもっている. このような現象についての突込んだ議論がなされた. 特に追加セッションでは, 引張応力によつて生成されるマルテンサイトやそのマルテンサイトのバリエーションが応力によつて一つのバリエーションに変わつてゆく様子が映画によつて示された. (C. M. WAYMAN). また, Ms, As, To などの温度が応力によつて変化する事に対する突込んだ議論がなされた.

マルテンサイトの機械的性質に関連したものは 14, 15, 20, 21 のセッションで発表された (19 のセッションは取消し). P. M. KELLY は鉄マルテンサイトの強さは転位密度によつて決まるもので, 炭素の固溶強化などはあまり作用していないと発表し, 多くの反論があつた. そのためコーヒー・ブレイクの時間をさいて議論がつけられた. 反論としては, マルテンサイトの粒度, 形態も重要である. 固溶強化, 析出前段階などきわめて重要な因子であると同時に, これらのすべての因子が互に関連しており, 一つの因子のみを取上げて評価することはできない. など活発な議論が行なわれた. G. KRAUSS は高炭素鋼の焼入組織の破壊について発表し, 0.98% C, 1.25% Cr 鋼を A_{cm} 以上から焼入したものと A_{cm} 以下 (球状化) から焼入したものを比較すると, 前者は粗粒でレンズ状マルテンサイトを生成し, 内部微小割が存在するにもかかわらず K_{Ic} が高かつた. 多量の残留オーステナイトによる低硬化にも原因するが, 後者の場合球状炭化物による割先端部における塑性ひずみの生成の困難性に原因があるようであると述べた. また, 平井はステンレス溶着金属の低温性質について発表した. 淀川は Fe-Ni マルテンサイトの高温性質について, J. R. C. GUIMARÃES は衝撃荷重による TRIP 現象について述べた. 松田は逆変態組織について述べ, マルテンサイトのオーステナイト変態の可能性を示した. 渡辺はラスマルテンサイトからの逆変態について, 柴田は Fe-Ni 合金の等温変態について, H. MATHIAS は TRIP 鋼の衝撃荷重によるマルテンサイト変態について述べ, S. JIN はマルエージング鋼や PH ステンレス鋼において γ' -Ni₃(Ti, Al) の析出強化を利用することが多いが, マルテンサイトを急熱してマルテンサイトのオーステナイトを生成するとそのオーステナイトには欠陥 (主として転位) が多く, それから生成したマルテンサイトを時効すると γ' 相の析出が効果的となつて強化するであろう. また, γ' 粒子の存在によつてオーステナイトが安定化する

るといわれているが、それがどのような働きをするかということ Fe-29Ni-4.3Ti 合金を用いて研究し、両方が確認された。これに関連して細見 (18のセッション) は、マルエージング鋼をオーステナイト化し再結晶する前に焼入れすると Stringer-like なマルテンサイトを生成し、時効による強化の著しいことを示した。J. W. MORRIS は、工業的に有用な強さをもつフェライト鋼では液体ヘリウム温度まで遷移温度を下げることは困難であるが、非常に細粒にすると達せられる。その方法として、8~12%Ni 鋼で ($\alpha+\gamma$) 域の上限付近に加熱冷却を2回繰返すことを提唱している。それによつて残留オーステナイトを作ることなしに直径約 1μ の粒にすることができる。現に Fe-12Ni-0.25Ti が液体ヘリウム中で十分な靱性を示した。Ni 量が少なくなると、加熱温度を少し下げて残留オーステナイトを少し残すとよい。

上表 6, 7, 8 のセッションでは、応力またはひずみによつて誘発されるマルテンサイト変態について多くの論文が発表された。まず、水素添加によるオーステナイトのマルテンサイト変態について2つの論文があり、TRIP 現象について7論文があつた。野原は段階的に冷却しながら引張ると非常に大きな TRIP が現われることを示した。これは加工硬化したオーステナイトがマルテンサイトに変態すると前の加工による局所的な応力集中や残留応力を消去するように変態がおこるなどの理由によるものと思われる。田中は残留オーステナイトによる TRIP 現象を述べた。小野寺、加藤、鈴木、時実、はオーステナイトのマルテンサイト変態に及ぼす応力とひずみの効果をそれぞれの立場から論じた。これに関連し、P. C. MAXWELL (9のセッション) および J. R. C. GUIMARÃES (21のセッション) も加工誘発変態について述べた。変態に応力が作用することは知られているが、ひずみに関与するか否かについて大きく議論された。この問題については筆者が金属学会報に執筆したので参照されたい (15 卷 (1967) No. 8 掲載予定)。

12のセッションでは2つの招待講演が行なわれた。C. M. WAYMAN はマルテンサイト変態に関する最近の問題

を展望し、特に形状記憶効果に重点をおいてその問題点を指摘した。田村はミッドリブのない完全双晶マルテンサイトを新しいマルテンサイトの形態として取上げ、これを thin-plate martensite と呼んだ。そのマルテンサイトの生成条件、形態上の特徴、成長挙動などの彼等の研究を要約して述べた。

以上のような論文発表と討論を通じて、このシンポジウムの、マルテンサイト変態に関する国際的な知識の交換という目的を十分に果たし、大きな成果をおさめることができた。また、多くの重要問題が将来の問題として確認することができた。すなわち、それらを要約すると

1. マルテンサイト変態前駆現象
2. 核生成成長機構とひずみエネルギー
3. 鉄マルテンサイトの正方晶性の異常性と炭素原子位置
4. マルテンサイトの形態と微細構造の支配因子
5. マルテンサイト変態に対する応力およびひずみの効果
6. 熱弾性的性質と超弾性
7. 鉄マルテンサイトの強化因子

などである。このシンポジウムの一つの反省として、基礎的、理論的な論文が多く、工業的、技術的論文が比較的少なかつたばかりではなく、企業からの論文が組織委員会が予期したよりもきわめて少なかつた。その原因は変態そのものが主体となり、性質に主眼がないように受けとられたためであろうと思われる。

また5月11日夕刻懇親パーティーを開催したが、全員うちとけて、くつろぎ、CHRISTIAN, KURDJUMOV, WARLIMONT, WAYMAN らがそれぞれの国の歌をうたい、きわめてなごやかな雰囲気をかもし出し、世界のマルテンサイトマン達の友好と親善を深めた。この意味でもこのシンポジウムは大成功であつた。

このシンポジウムを世界のマルテンサイト会議の第1回とし、第2回を1978年にアメリカのボストンで開催することに決定した。第2回もまた成功であることを祈りつつ筆をおく。