

## 理学博士西山善次君の「合金のマルテンサイト変態に關

### する研究」に対する授賞審査要旨

西山善次君は昭和二年東北大学卒業、直ちに同大学金属材料研究所に入所、最初は合金の磁気的研究を行ったが、間もなくマルテンサイト変態の研究に入り、専らX線回折法を用い、原子配列より見た変態の究明を行った。ついで昭和十四年大阪大学に転じてもその研究を継続し、昭和二十七年頃からは本問題に電子顕微鏡的研究法を取入れ、昭和四十年定年退職に至るまで、主として、マルテンサイトには格子欠陥が存在することを実証して、変態理論の確立に対して重要な資料を提供するとともに、合金の熱処理技術に対しても有力な指針を与えた。大学退職後も新日本製鉄(株)基礎研究所において、本問題に關して実験的ならびに理論的研究を続けている。これまで発表した論文約一二〇編の中の大半は本問題に關するもので、その主なものを大別すると次の三点になる。

A、鋼のマルテンサイトの結晶構造に關するX線的研究

B、マルテンサイト変態における結晶方位關係に關するX線的研究

C、マルテンサイトの格子欠陥および長週期の最密積層構造に關する電子顕微鏡的研究

#### 一、研究内容

A、鋼のマルテンサイトの結晶構造に關するX線の研究

この研究は西山君の研究の初期のものである。当時、炭素鋼のマルテンサイトの強度の原因について、微細な析出炭化鉄によるという析出説と、炭素原子が鉄原子の作る結晶格子内に固溶して格子歪を起こさしているためであるという固溶体説とがあつて盛んに論争されていた。これに対し一九二六年 Fink と Campbell は焼入鋼の中に正方晶マルテンサイトのあることを発表し固溶体説を支持した。しかし詳細は十分明らかでなかつた。

かねて本多光太郎博士は固溶体説をとつていたので、指導を受けていた西山君はその正方晶の存在を確かめ且つ詳細を知るために、先ず炭素量を種々に変えた鋼を使って研究した。その結果、やはり正方晶であり、第一図に示すように、その格子定数が炭素量とともに変わり、その軸比ならびに単位胞の体積は炭素量に比例して増加することがわかつた。このことはマルテンサイトが鉄と炭素の侵入型固溶体であることを証明したことになる。また鉄格子内における炭素原子は、第二図に示すように、八面体空隙にあるために、その上の鉄原子(4)を上方に、下の鉄原子(3)を下方にずらして鉄格子をひずませ、鉄格子は平均として正方晶になっていることを推論した。この推論が正しいことは、鉄炭素合金に第三の置換型原子(規則格子を作らない)を添加しても軸比が炭素原子の量のみ依存するという実験結果からも裏付けされた。

B、マルテンサイト変態における結晶方位関係に関するX線的研究

マルテンサイト変態の本性を究めるには、結晶構造の決定のつぎに、変態の前後すなわちマルテンサイト( $\alpha'$ )とその母相( $r$ )との結晶方位の間に何らかの関係があるかどうかを知ることが必要である。

西山君はそれを調べるためにFe—30%Ni合金をえらんだ。この合金は高温から常温に冷却しても変態は起こらず母

相のままであるので、常温で母相の状態の単結晶を作ることができた。先ずその結晶の方位をX線回折法で決定しておき、その後で液体空気で冷却してマルテンサイト変態を起こさせ、それについてさらに方位を定めた。そのデータから変態前後の方位関係として

$$(111)\gamma // (011)\alpha', [11\bar{2}]\gamma // [011]\alpha'$$

を得た。これは第三図に説明してある。第一の關係式は、この図で $\gamma$ に対する(a)図と $\alpha'$ に対する(b)図とを比較して、ハッチングを施した面同志が平行であることである。第二の關係式はその面内の一つの方向についての平行關係になっている。これらの關係は、その後諸外国でも追試が行われて確認され、「西山の格子方位關係」と称して、炭素鋼によって得られた「Kurdjumov-Sachsの格子方位關係」とともに一般に使用されているものである。

変態の前後の結晶間にこのような格子方位關係があるということは、母相の或る結晶面にそって或る方向にせん断変形することによってマルテンサイト結晶が生ずることを示すもので、マルテンサイト変態は原子の連携運動によって起こるとする今日の変態理論の基礎がこれによって作られたわけである。

以上は、母相が面心立方晶でマルテンサイトが体心立方晶(あるいは正方晶)の場合であるが、西山君はこの他に、面心立方晶から最密六方晶へ、体心立方晶から最密積層構造への変態などについても研究し、マルテンサイトはつねにそれぞれの構造に応じて母相と特有の格子方位関係をもつことを明らかにした。

#### C、マルテンサイトの格子欠陥および長週期最密積層構造に関する電子顕微鏡的研究

マルテンサイト変態が原子の連携運動によって起こるものならば、結晶格子の或る体積部分についてその形状に変

化が起こらざるを得ない。従つてその周囲に応力を及ぼす。それを緩和するための歪の量は弾性歪では到底受持つことのできないほど大きいので、どうしてもそれを塑性変形で補足せざるを得ない。そのような塑性変形のためのすべり或は双晶変形におけるすべり面の間隔は、鉄合金などでは光学顕微鏡では認め難いほどに狭いものであるということが理論から推測されていた。その理論は変態が格子変形と塑性変形とによるとする二重歪説である。

丁度その頃、電子顕微鏡による金属の表面レプリカ観察法が行われ始めていたので、西山君は、この方法がマルテンサイト変態の研究に有力な武器になるであろうと考えた。そこで先ず、前述の方位関係の研究に使つたのと同じFe—30%Ni合金のマルテンサイトを使用し、その表面についてレプリカ法で電子顕微鏡観察を行った。その結果、数十Åの間隔の微細縞でおおわれている組織を発見した。それこそ前記の変態歪緩和のための補足変形のすべり或は双晶変形による面欠陥であると考えられ、二重歪説に実験的根拠を与えた。この研究は国際会議でも発表された。

それから間もなく、電子顕微鏡の試料作成法が進歩し、実物の薄膜が作られるようになったので、前記レプリカ法で見られた微細縞の本体を電子顕微鏡による電子回折法で調べることができた。その結果、微細縞は双晶欠陥が繰返されて生ずるものであることがわかり、補足変形の本体が明確になった。

さらにその後、銅合金およびタン合金のマルテンサイトについても研究し、何れの場合にも双晶欠陥、積層欠陥あるいは転位が無数に内在することを明らかにした。この無数の格子欠陥の存在は今日ではマルテンサイトの特性の中で最も重要なものとされている。これらの研究は国際会議にも数回にわたつて発表された。

なおその他に、銅合金のマルテンサイトの電子顕微鏡的研究によつて新事実も発見した。その一つは銅—アルミニ

ウム合金の $\beta$ 相より生ずるマルテンサイトが18の原子層から成る長週期の最密積層構造

$A'B'CB'CA'CA'BA'BC'BC'CA'CB'(A'BC'BC'A' \dots)$ はずれた原子層の種類)をもつことである。また他の一つは銅—錫合金のマルテンサイトの場合に、 $A'B'$ 型の他に四原子層の $A'B'A'C'$ 型最密積層構造のものがあることを見出した。従来これらのマルテンサイトの結晶構造については、X線の的には古くからしばしば研究されながら不明のままであったけれども、西山君の電子顕微鏡的研究によって初めて明らかにされたものである。この西山君の研究が刺激になったためか、その後これに類する研究が各所で行われるようになり、従来不明であった点の多くが解決された。

むすび

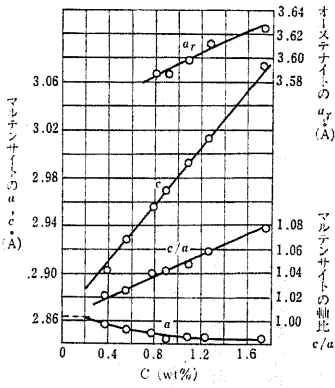
上に述べたようにマルテンサイトの結晶には普通の塑性変形の場合よりもはるかに多い格子欠陥が存在する。そのことがそのまま炭素原子の固溶による格子歪とともに鋼の強化に寄与しているのである。またそれとともに、通常それ以上に著しい強化が起こるのは、焼入後の時効および焼戻のときに、固溶原子や不純物などの原子がおびただしい数の格子欠陥に析出し析出粒子を非常に微細にすることによるものである。それゆえ、マルテンサイトの格子欠陥を研究したことは変態理論を發展せしめただけでなく、合金の熱処理技術に対しても大きい指針を与えたことになる。

なお、西山君は最近「マルテンサイト変態(基本編)」と題する著作をしているが、これは中に西山君の研究結果が非常に多くもられているだけでなく、広く海外の研究結果も取入れられており独自の見解のもとに体系づけたもので、今後の研究者の大きなより所となるであろう。

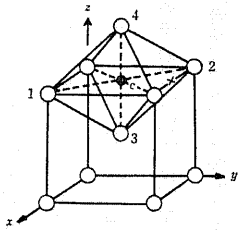
要するに、西山君の四十年の長きに亘る研究業績は、主としてX線ならびに電子顕微鏡によってマルテンサイト変

態の本性を究明し、変態理論に重要な資料を提供してその進歩を促がし、金属工業技術の基礎づけに大きな貢献をしたものと認められる。

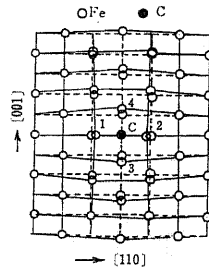
附 図



第一 図

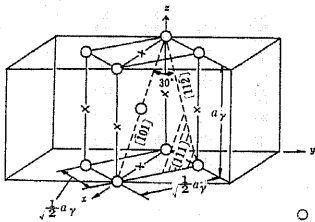


八面体位置  
( $\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, 0$ )  
(a)

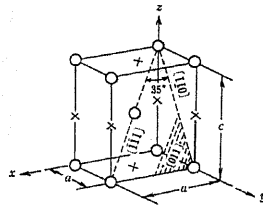


(b)

第二 図



(a)  $\gamma$



(b)  $\alpha'$

○ Fe原子  
× C原子の入りうる位置

第三 図

1) 主要な論文並びに著書目録

4' マルテンサイト変態に関する論文の目録並びに

1. On the nature of the tetragonal and cubic martensites. Sci. Rep., 21, 299 (1932). (共著者本多)
2. X-ray investigation of the aging effect in quenched carbon steels. Sci. Rep., 22, 565 (1933).
3. X-ray investigation of the mechanism of the transformation from face-centred cubic lattice to body-centred cubic. Sci. Rep., 23, 637 (1934).
4. X-ray investigation of austenite and martensite in some special steels. Sci. Rep., 24, 128 (1935).
5. On the tetragonal martensite in carbon steels. Sci. Rep., 24, 517 (1935).
6. On the mechanism of transformation of face-centred cubic into hexagonal close-packed lattice. Sci. Rep., 25, 79 (1936).
7. X-ray investigation of tempered martensite in carbon steels. Sci. Rep., Ann. Vol. 840 (1936).
8. 高炭素高 $\Delta$ 鋼に現われる麻留田の結晶構造。日本金属学会誌、八、三〇五(一九四四)(共著者土屋)
9. X線吸収スペクトルによる鋼の麻留田に関する研究。日本金属学会誌、九、一一五(一九四六)(共著者湯川)
10. 鉄—ニッケル合金のマルテンサイトの電子顕微鏡組織に現われる微細組織について。日本金属学会誌、二〇、三二五(一九五六)(共著者清水、佐藤)
11. On the martensite crystal-electron microscopic investigation of etch pits. Acta Met., 6, 125 (1958); Mem. ISTR, 15, 105 (1958). (共著者清水)
12. Temperature distribution during the martensite plate formation. J. Phys. Soc. Japan, 13, 1084 (1958). (共著者梅、鈴木、山田)
13. Direct observation of sub-structures in the martensite. Acta Met., 7, 432 (1959). (共著者清水)
14. The martensite transformation in thin foils. Acta Met., 9, 620 (1961). (共著者清水、谷崎)
15. Study of sub-structures of the martensite in Fe-Ni alloy by means of transmission electron microscopy.

- Acta Met., 9, 980 (1961). (共著者清水)
16. Electron microscopic study of the crystal structure of the martensite in a Cu-Al alloy. J. J. Appl. Phys., 2, 478 (1963). (共著者梶原)
17. Transmission electron microscope study of the bainite of carbon steel. Trans. JIM, 5, 225 (1964). (共著者清水、藤)
18. The electron microscopic structure and lattice defects of the martensite in commercially pure titanium. Trans. JIM, 7, 168 (1966). (共著者岡、中川)
19. Electron microscope study of the lattice defects in the  $\beta'$  and  $\beta''$  martensite. Trans. JIM, 9, 307, 317, 930 (1968). (共著者清水、森川)
20. Electron microscope observation of the martensite in high aluminium steel. Trans. JIM, 11, 152 (1970). (共著者清水、原田)

B、著書

マルテンサイト変態(基本編)、丸善出版(一九七二)