

## 技術トピックス

# 日本刀を新たに見直す

高橋恒夫\*・村上 雄\*・岡田千里\*<sup>2</sup>・藤井則久\*<sup>3</sup>

## Discovering New Aspects in a Japanese Sword

Tsuneeo TAKAHASHI, Takeshi MURAKAMI, Senri OKADA and Norihisa FUJII

### 1. 結 言

日本刀は世界に誇るに足る古典技術の粹、芸術の華としてわれわれの心の中に生きている<sup>1)</sup>。この日本刀あるいは古刀を科学的に解明しようとした報告は俵博士の名著<sup>2)</sup>を初めとして数多くある<sup>3)~5)</sup>。筆者らは、たまたま四振りの日本刀の一部を入手する機会に恵まれた。そこであらためて最近の解析手法も加えてその断面を調査し、その製造方法等の考察を試みた。これは「温故知新」の格言があるように、古代技術を近代工学と結合させ、日本刀の心を近代工業材料として復活させることができないかという多くの願いもある。

### 2. 調査した日本刀

調査した刀は日本美術刀剣保存協会鈴木卓夫氏の御好意により刀身の一部を御提供いただいたものである。この

一覧を表1に示す。14世紀製作の名刀備州長船政光作のほか、徳川中期17世紀の刀できわめて貴重なものといえる。

これらは、まず刀の側面でカントバックによりその化学組成の分析を行った。ついで断面を研磨し、その組織、硬さ、あるいはEPMAによる炭素量分布の同定などを行った。以下では刀の呼称は刀匠の名を冠してよぶことにする。政光刀および忠廣刀の押形を写真1に示す。

### 3. 断面のミクロ、マクロ組織

写真2~5に各刀断面のマクロ組織および代表的ミクロ組織を示す。マクロ組織はピクラール腐食、ミクロ組織はナイトール腐食のものである。また、写真6には研磨のままの状態による介在物分布状態を示す。写真2~6のマクロ組織に注目したとき、刀による相違の大きい

表1 調査した刀の概略

銘	刀匠の概略	調査箇所*	参考事項 <sup>1)</sup>
		刃区**からの距離(mm)	
備州長船政光 (びしゅうおさふねまさみつ)	南北朝時代、貞治 当代一流の刀匠 永徳2年(1382年)の作刀	約 30	肩落互の目、互の目丁字乱れ 多く研ぎおろしてしまった 刀で一部心金が露出している ところもある***
近江大掾藤原忠廣 (おうみのだいにしよふじわらのただひろ)	1614年~1693年 (徳川3代~4代將軍の頃) 肥前住、当代一流の刀匠 延宝6年(1678年)の作刀	約 190	すぐはのた おおわざもの 中直刃、湾れ刃互の目、大業物
奥和泉守忠重 (おくいずみのかみただしげ)	1657年~1720年 (徳川4代~5代將軍の頃) 薩摩住、中堅の刀匠	約 90	とうらんば にえ 濤乱刃、大乱れ沸つき、良業物 地肌細かく、刃文に 沸えがみえる***
平安城藤原國繼 (へいあんじょうふじわらのくにつぐ)	(徳川3代~4代將軍の頃) 越前、後に京へ移住 中堅の刀匠 明暦2年(1656年)の作刀	約 200	地肌が粗い***

\* 切断された刀の中心側<sup>なか</sup>を入手したので刀長および刃長については不詳。

\*\* 刃区(はまち): 刃の根元の部分鏝の付く箇所。<sup>つば</sup>

\*\*\* 日本美術刀剣保存協会鈴木卓夫氏による。

昭和60年4月9日受付 (Received Apr. 9, 1985) (依頼技術トピックス)

\* 東京工業大学工学部 工博 (Faculty of Engineering, Tokyo Institute of Technology, 2-12-1 Ookayama Meguro-ku, Tokyo 152)

\*<sup>2</sup> (株)日立製作所 工博 (Hitachi, Ltd.)

\*<sup>3</sup> (株)日立製作所 (Hitachi, Ltd.)

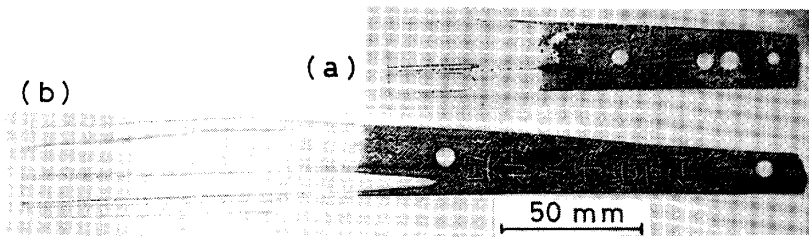
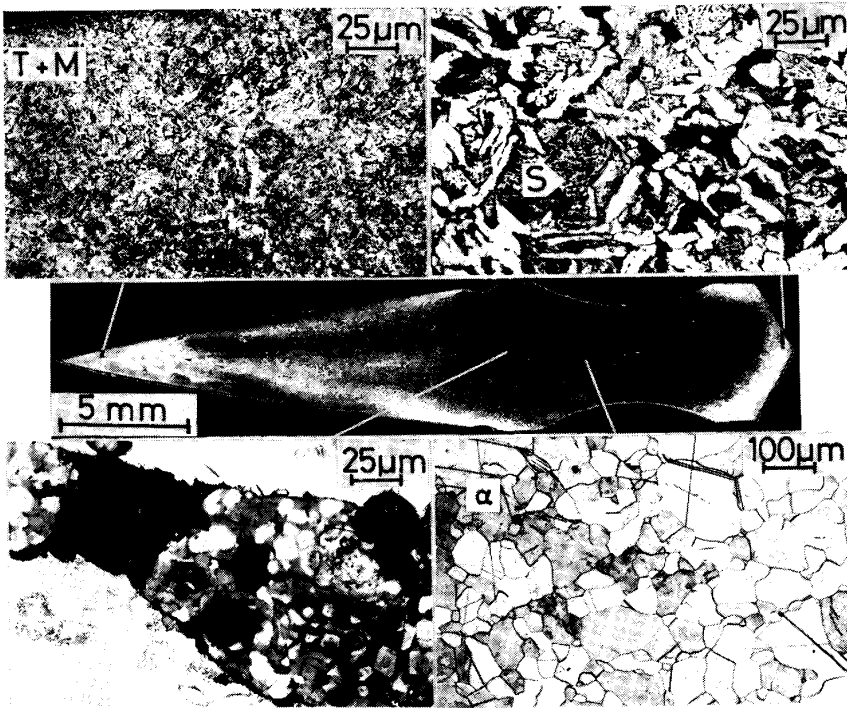


写真 1 政光刀(a)および忠廣刀(b)の押形



T: トルースタイト M: マルテンサイト  
S: ソルバイト α: フェライト

写真 2 政光刀のマクロ組織およびマイクロ組織

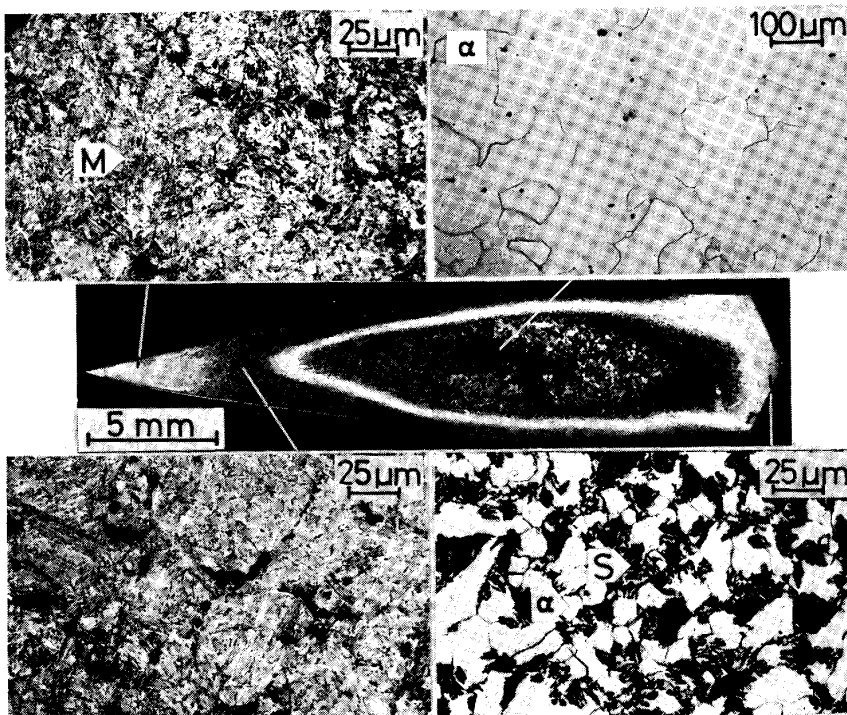


写真 3 忠廣刀のマクロ組織およびマイクロ組織

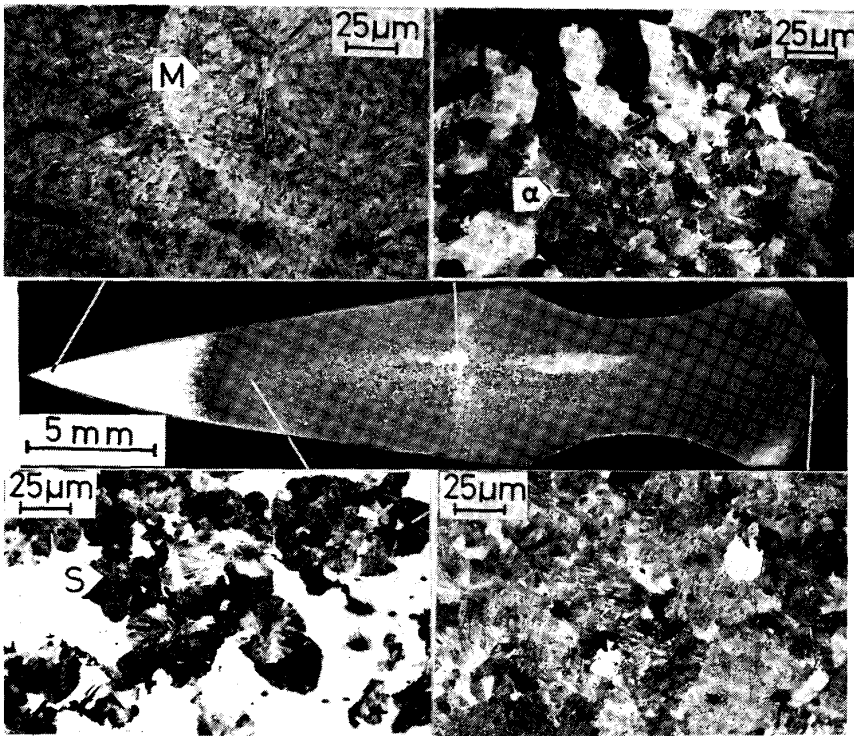


写真 4 忠重刀のマクロ組織および  
ミクロ組織

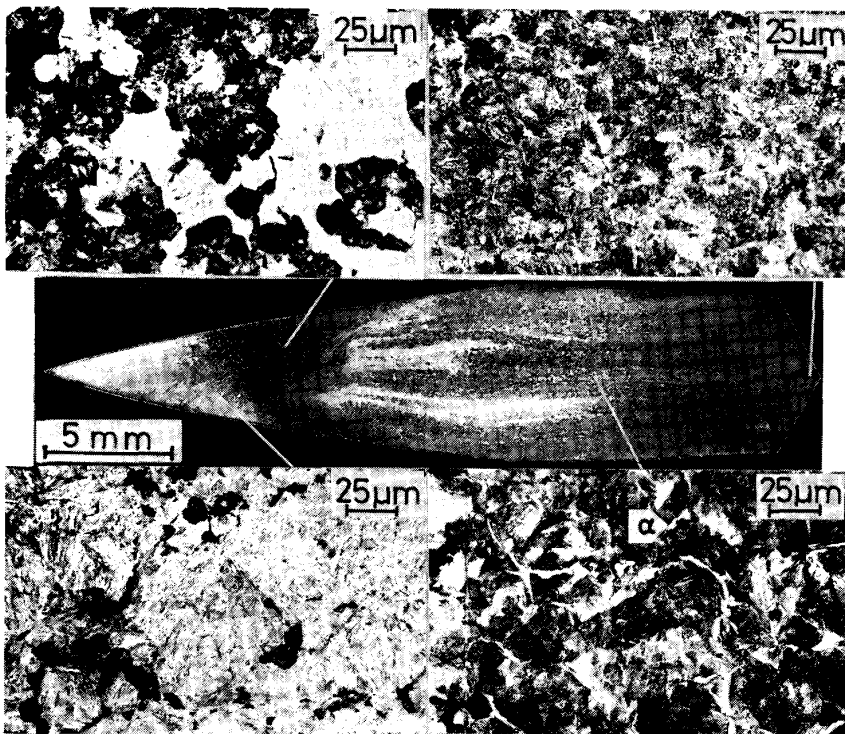
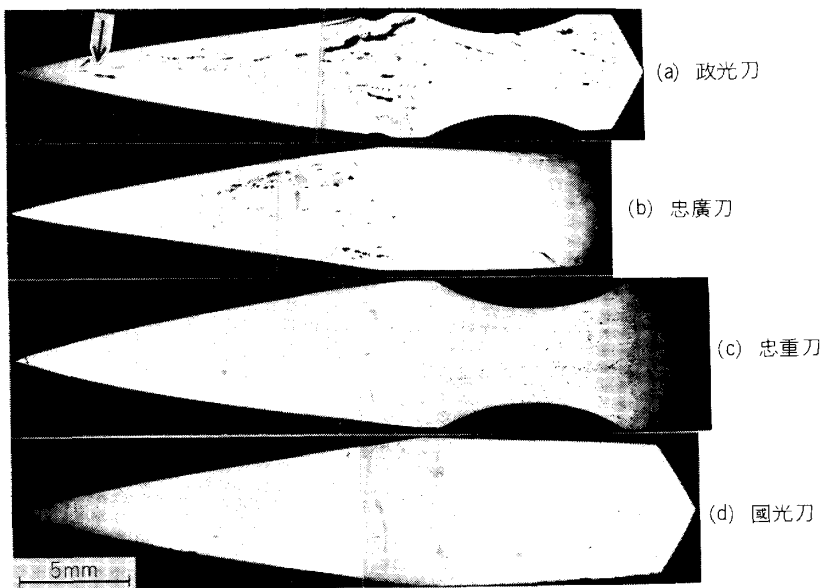


写真 5 國繼刀のマクロ組織および  
ミクロ組織

ことに驚かされる。刀の鍛錬方法、炭素量の違いが如実に示されているのであろうが、政光刀、忠廣刀では介在物が粗いのに対し、忠重刀、國繼刀では介在物が細かく分布し、層状をなし、よく折り返し鍛錬されたものであろうことを示している。忠廣刀のマクロ組織からは、芯金が広い領域にわたって明瞭に識別され、フェライトの粗い再結晶組織になっている。

ミクロ組織は、紙面の制約から多くを掲載することができなかつたが、断面全面の観察結果をも加味して述べると概略下記のとおりである。

**政光刀:** 既に触れたが介在物が粗く、多い。介在物の詳細は後章で述べるが、皮金、芯金の鍛接部で特に量が多い。たとえば写真6で、刃先近傍にL字形に介在物(矢印)が認められるが、これを境にして刃先側はトルー



矢印: 本文説明の介在物  
写真 6 断面における非金属介在物の分布

表 2 調査した刀の化学組成 (wt%)

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu	V	Ti	Al	Mo	$\Sigma I$	分析位置	分析方法: カントバック
政光刀	0.41	0.04	<0.01	0.056	0.002	0.004	<0.001	0.006	<0.005	0.025	0.005	<0.01	0.164		
忠廣刀	0.64	0.05	<0.01	0.027	0.007	0.008	<0.01	0.003	<0.005	0.006	0.002	<0.01	0.138		
忠重刀	0.73	0.09	<0.01	0.014	0.001	0.015	<0.001	0.004	<0.005	0.007	0.001	<0.01	0.158		
國繼刀	0.64	0.05	<0.01	0.006	0.001	<0.003	<0.001	0.002	<0.005	0.010	0.004	<0.01	0.102		

スタイト (以下 T と略記) 相+マルテンサイト (以下 M と略記) 相からすべて M の組織と遷移する。介在物よりも深部側ではフェライト (以下  $\alpha$  と略記) 相の多い組織に急変している。芯金部ではほとんどパーライトが認められず極低炭素量の組成になっている。棟部に至ると棟金を用いたのか、再び高炭素組織となり、表面から 0.3 mm の深さまでは、 $\alpha$  相とソルバイト (以下 S と略記) 相の混合組織になっている。

**忠廣刀:** マクロ組織とよく対応できる。それぞれ刃先は M, ついで側表面も含めて T, その内側では  $\alpha$  相を主体とする組織になっている。棟部の表面より 1 mm 程度は約 50% S 相, 残り  $\alpha$  相の中炭素組成の組織となっている。

**忠重刀:** 刃先焼入部の M 相に富む組織は他より粗い針状となっている。これより深部はそのほとんどが S 相を主体とする組織である。マクロ組織で芯部に白色領域が認められるが、ここは若干  $\alpha$  相の混在するパーライト組織である。全体を通じて比較的高炭素量の組織といえる。

**國繼刀:** マクロ組織では、焼境に続く黒色領域 (T 相に富む組織) 中に鍛接したと思われる線が認められる。しかしミクロ組織観察では鍛接線の両側で大きな組織変化は認められない。一般的に高炭素組成で、中央領域においても粒界にわずかに  $\alpha$  相が介在する微細なパーライト

組織になっている。棟部は炭素量が高いのか、 $\alpha$  相は存在しなくなる。

#### 4. 化学 成 分

表 2 は刀身側面をカントバックにより分析した結果である。他の多くの報告<sup>1)2)</sup>にみられるように、不純物のきわめて少ない炭素鋼といえることができる。参考までに炭素以外の含有元素の分析値を合計してみた ( $\Sigma I$ )。この値では政光刀で最も多く 0.164, ついで忠重刀となり、國繼刀で最も少なく 0.102 である。政光刀で  $\Sigma I$  が高くなったのは主にりん量が他に比べて高かったためである。また、國繼刀の  $\Sigma I$  が最も低かったのもりん量が低かったためといえる。このほか、Ni, Cr, あるいは Ti などに大きな差が認められる。

不純物の合計量は相対的に少なく、総じて高純度炭素鋼といえることができる。そこで炭素量に特に着目し、EPMA によりおのおのの中心線上縦断面および刃先から約 10 mm 内部での横断面の炭素量を線分析した。この結果を図 1 および図 2 に示す。両図において縦軸には X 線強度のみを示し、換算炭素量は示さなかつた。これは表 2 の炭素量と、図 2 中側表面の X 線強度を対照したとき、おのおのの対応をとり難かつたためである。しかし、表 2 と図 1 および 2 を比較することで半定量的に刀ごとの炭素量分布の特徴がよく分かる。

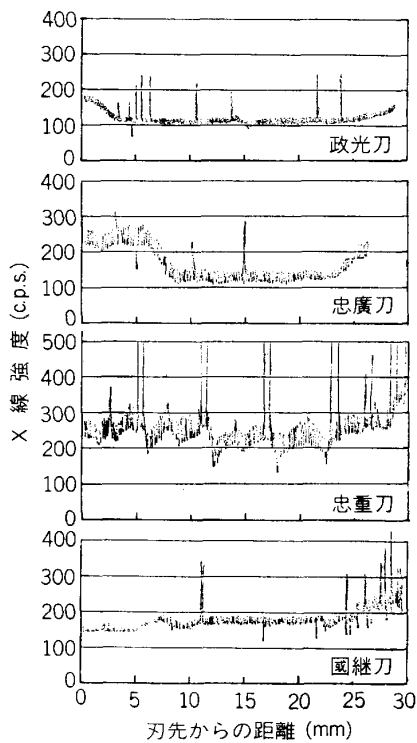


図 1 断面中心線上での含有炭素量の変化

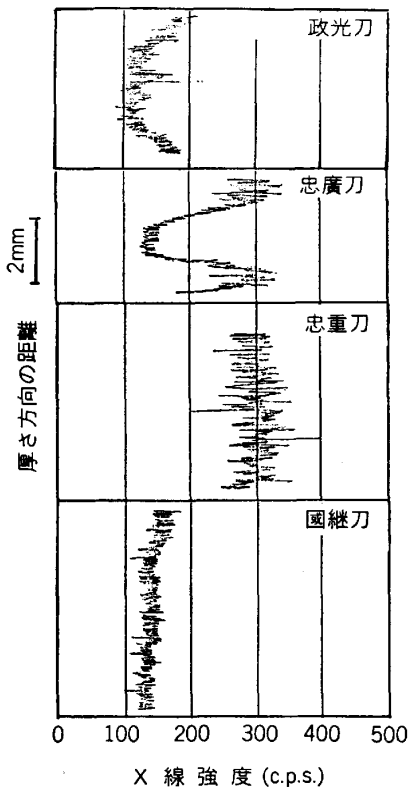


図 2 刃先から約 10 mm 内部の厚さ方向での含有炭素量の変化

**政光刀:** 刃金約 170 cps, 芯金約 110 cps, 棟金約 150 cps で相対的に他より低炭素の組成である。刃金部の量も少なく、尖端から 2~3 mm しかない。

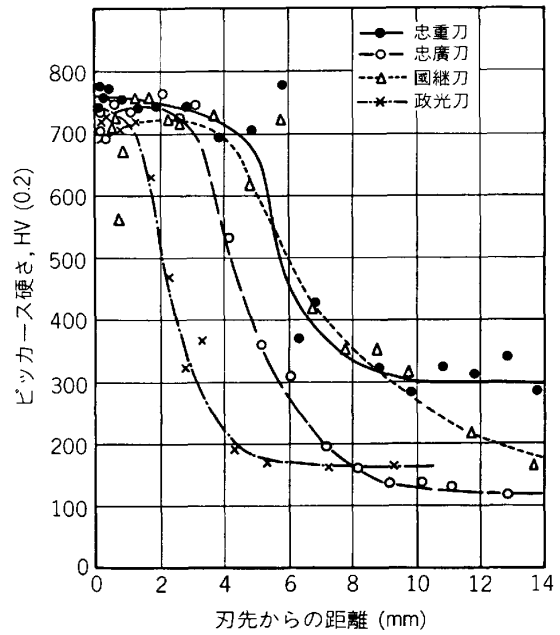


図 3 断面中心線上での硬さの変化

表 3 介在物の面積率 (%)

	刃側	棟側	平均
政光刀	7.2	5.4	6.3
忠廣刀	3.1	2.3	2.7
忠重刀	3.5	4.7	4.1
國繼刀	4.3	3.8	4.0

\* 測定視野数 60, 倍率 400倍で測定した (JIS G 0555)。

**忠廣刀:** 刃金部 250 cps 程度, 芯金 125 cps, 棟金 200 cps 程度で, おおのこの領域が明瞭に区別される。皮金も明瞭であり, 300 cps 程度できわめて高炭素量になっている。刃金は 6 mm 程度までである。

**忠重刀:** 他の刀と比べ特徴ある結果が示されている。まず全体的に高炭素であるが, 刃先部, 芯部で炭素量に大きな差がなく, 芯部まで高炭素であることが注目される。さらに, 棟部でもつとも高炭素となり, X線強度はスケールアウトしている。このX線強度から推定すれば, あるいは過共析成分でないかとすら思われる。

また, 2~3 mm ピッチで炭素量の変動が繰り返されている。これは折り返し鍛錬の痕跡を示すものではないかと推定される。

**國繼刀:** 刃金部 160~170 cps 程度, 芯金部は 180~190 cps で棟金部は棟へ至る程高炭素組織となり, 250 cps に至っている。他の刀と比べて刃金部は相対的に低炭素であるが, 芯金部は炭素量が高い。横方向を分析した図 2 に示す結果でも, 皮金部と芯金部に炭素量の差異が認められない。

このように高炭素量の芯金を用い, しかもそれよりも低炭素量の刃金と鍛接しているのは, 採取した試料が刃区に近いことと関連があるかとも思われるが詳細は不明である。

## 5. 断面の硬さ分布

図3に断面中心線に沿って測定したマイクロビッカース硬さ(荷重 200 g)の分布を示す。刀ごとの比較では、焼入された刃先部の硬さは HV 700~770 程度の比較的狭い範囲に納まっていることが分かる。焼入深さあるいは芯金部の硬さは刀ごとに違いがでている。

政光刀は焼入れ深さが浅い。これは図1の炭素量の遷移とも対応するもので、あるいは表1に示したように多く研ぎおろしたことによるのかもしれない。

忠重刀は芯金部も高炭素成分であるため HV 300 と高い硬さになっている。

國繼刀は焼入れ部での測定値のばらつきがきわめて大きい。しかも、芯金部での炭素量は忠重刀、政光刀のものより高いにもかかわらず、14 mm 程度内部ではそれらとほとんど同じ硬さレベルになっている。

## 6. 介在物に関する解析

断面に存在する非金属介在物の形状、分布状態を、刃先部、中央部、および棟部について観察した。また、断面を刃側、棟側と大きく2分して、それぞれの領域で JIS 法により介在物面積率を測定した。その結果を表3に示す。写真6および写真7に示す二次電子像ともあわせ検討すれば、概略下記のとおりである。

全般的に刃先部の介在物は微細化されており、よく鍛伸されたことを思わせる。忠重刀および國繼刀では介在物が他より微細化されており、全体に鍛錬程度は高いものと思われる。介在物量は忠重刀でもつとも少なく、政光刀で極端に高い。いずれにせよ、これらの介在物量は現代の工業的に生産された鉄鋼材料と比べ極端に高い量になっている。

つぎに各部の介在物について EPMA を用いて構成元素の同定を試みた。同定結果の一例として忠重刀の中央

部付近の介在物分析結果を写真8に示す。塊状の介在物(矢印)には Fe, Ti, O が、その周囲の微細な介在物には Fe, Si, Ca, Al, O の元素が検出されている。

よく知られているように、日本刀の原料となつた砂鉄は、チタン磁鉄鉱あるいはフェロチタン磁鉄鉱からなり、古代製鉄においては鉄を得るためにチタンを除去することに秘伝があつたとされている<sup>9)</sup>。実際に、各種鉄滓の分析を行うと、チタンが含有されている場合が多く<sup>9)~12)</sup>、鉄滓中のチタン量の多寡は、原料の組成あるいは産地を推定する重要な鍵となつている<sup>9)</sup>。著者らの鉄滓の分析結果<sup>11)12)</sup>に基づくと、写真8の塊状の介在物にはウルボスピネル( $\text{Fe}_2\text{TiO}_4$ )、その周囲の微細な介在物には Fayalite( $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ ) が含まれていることがわかる。

写真7に示した介在物においても、組成を詳しく調べるには至らなかつたが、Si, Al, Ca, Fe などの元素が検出された。政光刀の中央部では空洞が生じていたり、忠重刀の刃部では延伸されていない介在物があつたり、形状や鍛造による破碎のされ方も、同一の刀でも様々であるので、組成も種々異なると思われる。このように刀の中に介在物が多量に存在することは、刀の製造過程で不純物として鉄滓が混入した結果と推定されるが、原料を還元後さらに鋼とする精錬が行われたかどうか、また精錬操作はどうであつたかなどの疑問を解くにはさらに詳細な調査が必要である。

## 7. 総括

14 世紀、17 世紀に作られた日本刀四振を切断し調査する機会に恵まれた。その結果を総括しながら注目された事項を述べると以下のとおりである。

1) 組成的には炭素以外の元素が極めて少ない高純度炭素鋼である。このことは既に知られていることではあるが、高純度であることが、刃金、芯金、皮金、あるいは棟金それぞれの鍛接性を良くしているのもあろう。ま

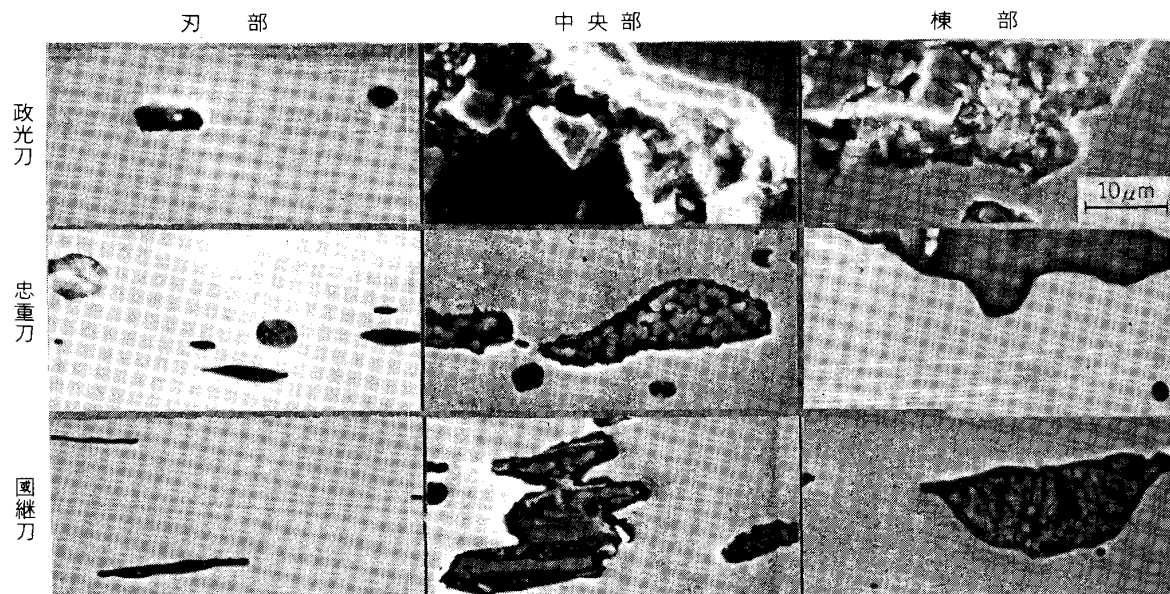


写真7 非金属介在物の二次電子像

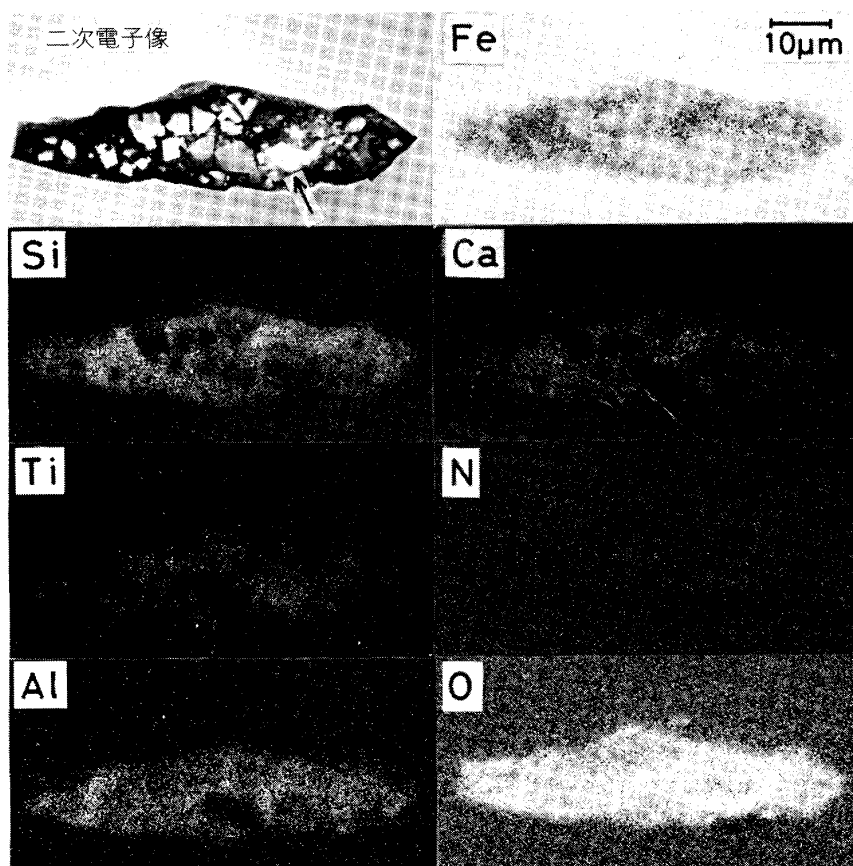


写真 8 断面中央部付近の介在物の EPMA による面分析 (忠廣刀)

た、これが耐食性を高めているという報告<sup>13)</sup>もある。

高純度化はあるいは靱性向上への寄与もあるのかもしれない。現代工業的に生産される鋼とオーダーの違う純度とみなせるもので、現代の工業材料を高純度化することで何か画期的特性が期待できるのではなかろうか。

2) 非金属介在物の量が極めて多いことに驚かされた。この量は現代の工業用鋼の1~2桁多い量といえよう。このような多量の介在物が存在するにもかかわらず日本刀独特の強靱性を有するという事は、すべての介在物を皆無にする必要はなく、ポイントを抑えた生産技術を採用することの重要性を教えられる気がする。

3) SHERBY<sup>14)15)</sup> はダマスカス刀、日本刀を範として超高炭素鋼(例えば1.6% C鋼)と極低炭素鋼の複合材を現代工業材料として用いることを提案している。まさに同感である。今回調査した刀のうち、政光、忠廣は明らかに低炭素成分の芯金を高炭素の刃金、皮金で覆ったマクロ的複合材である<sup>1)</sup>。一方、忠重の作法はダマスカス刀に似た。高炭素、低炭素材を折り返し折り返し鍛造したものと推定される。高炭素、低炭素組成のそれぞれの特徴を生かした複合材として刀としての特性は似かよったものであろうが、製法は全くちがったものと思われる。このような推論も現代の材料技術へ反映させようのひとつのヒントとならないかと考える。

おわりに、試料を御提供いただき、また日本刀の鑑定

法などについて御教示を賜った(財)日本美術刀剣保存協会、鈴木卓夫氏に謝意を表する。

#### 文 献

- 1) 谷村 潤: 鉄と鋼, 67 (1981), p. 497
- 2) 俵 國一: 日本刀の科学的研究 (1953) [日立評論社]
- 3) 本多光太郎, 高橋金之助, 奈良七三郎: 金属の研究, 3 (1926), p. 10
- 4) 菊田多利男: 鉄鋼学上より見たる日本刀 (1933) [日進社]
- 5) 佐々木稔: 鉄と鋼, 68 (1982), p. 178
- 6) 村田朋美, 佐々木稔, 田口 勇: 鉄と鋼, 69 (1983), p. 2087
- 7) 美術刀剣保存に係る現代刀匠の伝統文化調査事業報告書 (1981) [(財)日本美術刀剣保存協会]
- 8) 2)~7) 以外に、次の日本製鉄技術史についての年次別文献目録に、日本刀に関する文献が挙げられている。『古代日本の鉄と社会』(東京工業大学製鉄史研究会) (1982), p. 323 [平凡社]
- 9) 桂 敬: 文献 8), p. 223
- 10) 湊 秀雄, 佐々木稔: たたら研究, 14 (1968), p. 88
- 11) 高橋恒夫: 東京工業大学人文論叢, No. 6 (1980), p. 305
- 12) 高橋恒夫, 村上 雄: 東京工業大学人文論叢, No. 10 (1984), p. 69
- 13) 井垣謙三, 一色 実: 考古学と自然科学, No. 14 (1982), p. 25
- 14) J. WADSWORTH and O. D. SHERBY: 金属博物館紀要, No. 4 (1979), p. 7
- 15) O. D. SHERBY (鈴木朝夫訳): 鉄と鋼, 66 (1980), p. 114