

やまもと じゅん

氏名	山本 潤
所属	福井県立大学大学院経済・経営学研究科博士後期課程
学位の種類	博士（経済学）
学位記番号	甲第50号
学位授与の日付	平成26年3月25日
学位授与の要件	福井県立大学学位規程第3条第3項該当
学位論文題目	福井産地に於けるチタン眼鏡枠開発技術革新史
論文審査委員	福井県立大学経済学部 教授 岡 敏弘（主査） 福井県立大学経済学部 教授 服部茂幸 福井県立大学経済学部 教授 原田政美

## 博士論文審査結果

論文提出者: 山本潤

論文名: 「福井産地に於けるチタン眼鏡枠開発技術革新史」

論文内容の要旨:

本論文は、福井眼鏡枠産地におけるチタン眼鏡枠開発の技術革新の過程を明らかにしたものである。100年余の歴史をもつ福井眼鏡枠産地の歴史を記述した文献はいくつかあるが、技術革新の過程を明らかにしたものはなく、特に、1980年代初頭に開発されたチタン眼鏡枠は、福井産地の全盛期を生んだ最大の技術革新であったが、それがどのような過程を経て行われたかを記述した文献はどこにもない。それを初めて明らかにしたのがこの研究である。

全体は8章からなっている。

第1章では、この研究の方法、チタン以前の眼鏡枠の状況、産地の特徴、チタンという材料のことが述べられている。研究の方法上の特色は、技術開発に携わった諸企業の関係者へのインタビューによって事実を掘り起こしたということである。既存文献がないことに加えて、技術開発を行った企業にも、それを記録した文書が残っておらず、当時のノートなども失われていて、開発に携わった人の記憶の中にしか、開発に関わる諸事実が残っていなかったため、インタビュー以外に事実を掘り起こす方法がなかったのである。

チタン以前の眼鏡枠には、揺籃期の真鍮・赤銅・鉄・セルロイドから始まり、金メッキ、その後、洋白・モネル、洋白金張り、ハイニッケル合金、プラスチックではアセテート、ポリアミドなどが使われていたことが述べられている。1971年以降、金騰貴を背景として、パラジウム・ニッケル合金のメッキ層を下地にして金を薄くメッキする技術を黒田メッキが開発したことが特筆されている。

産地の特徴として分業制ということが述べられている。福井産地の眼鏡枠製造は、11の関連業種(その中を細分すると27種になる)からなる分業体制をとっている。このような体制ができた理由として、1モデルの発注量が小さいために組立メーカーの規模が小さく、受注の増減への調整を外注に依存したこと、技術習得後に独立しやすかったことが挙げられている。

チタンについては、比重が軽く、常温で表面に酸化皮膜の不動態を形成することから腐食に強いこと、チタンとチタンの違い、チタンのほとんどが酸化チタンの顔料として使われ、金属チタンの主要な用途は、航空機、ロケット、化学・石油のプラントなどの産業用であることが述べられている。眼鏡枠材料としてのチタンの意義は、金属アレルギーが起きないこと、軽いこと(洋白やステンレスと比べて45%以上軽い)、比強度が高いこと、錆びないことである。反面、加工のしにくさという特徴があるのだが、それについては第2章以降で詳述される。

第2章では、福井光器とマルマン・オプティカルでの最初のチタン眼鏡枠開発が「前史」として述べられている。

福井光器は、光学レンズ・メーカーのニコンのブランドで眼鏡枠を製造していたが、カメラに、チタン・シャッター幕などのチタン利用をしていたニコンの提案で、1978年頃にチタン眼鏡枠の

開発に取りかかった。技術上の最大の課題は接合であった。仕上がりの綺麗さを求められる眼鏡枠では、溶接ではなくロー付けが使われてきたが、従来の金属で酸化皮膜除去に使っていた溶剤ではチタンの酸化皮膜は剥離できず、従来のロー材では強度が確保されず、加熱時の酸化を防ぐ酸化防止剤もなく、そのまま加熱すると酸化チタンを形成して表面光沢がなくなるからである。それに対処するために、不活性ガス雰囲気の中でのロー付けが採用されたが、そのための治具を取り付けると、従来の差しローでは作業性が悪くなるので、チタン・銅・ニッケル合金のロー材による置きローを採用した。従来の抵抗式ロー付け機では均等加熱が難しく、部品の体積や形によって、高周波ロー付け機とプロジェクション溶接とを組み合わせた。研磨も、従来のバフ研磨では摩擦熱によって不動態皮膜が形成されることから、バレル研磨をを中心とした方法で、鏡面は得られないまでも商品化可能な水準にはなった。チタンへの湿式メッキ技術はなく、イオン・プレーティングを他社に委託したが、色に制限があり、ばらつきも多かった。こうして不完全ながらも、1981年に世界で最初の純チタン眼鏡枠を「ニコン・チテックス A」として出荷した。

純チタン眼鏡枠の難しさを認識した福井光器は、チタンの丸棒にニッケルを皮膜するクラッド材での生産に取り組んだ。クラッド材なら、トリミング加工ができないのでテンプレのデザインは制限されたが、ロー付けとメッキに従来の技術を使え、そしてクラッド材でも従来よりも40%は軽くできるのである。福井光器は、クラッド材を使った眼鏡枠を量産し、1981年に「ニコン・チテックス B」として発売した。

純チタン眼鏡枠には、ロー付け以外の工程でも多くの技術的困難があった。スエーピング加工で加工硬化を起こし、そのままプレスすると割れたりするので、センタレス加工で切削した。プレス加工でバリ出しすると、研磨が難しいので、バリ出しをしないようにセンタレス加工での寸法の工夫が要った。ミゾ線のロール圧延のための圧延油の選択、ロールの回転速度を遅くすること、焼鈍加熱での表面の荒れを防ぐことなども必要だった。丁番加工の刃物や回転数の検討、切削油の選択、ドリル加工の刃の選択も必要だった。丁番のかじつき防止のためのワッシャーの挿入も新たに取り入れられた。金型の破損もよく起こった。これらの困難のために、高価な眼鏡枠になったが、高級品として受け入れられたということである。

マルマン・オプティカルは福井産地の企業ではなく、ライターを販売していたが、使い捨てライターの登場によって本業が苦しくなる中で、1978年に眼鏡枠製造に参入した。福井産地と違う特徴を求めて、チタンを研究した。アメリカからTiCuNiロー材を購入して抵抗式ロー付けを試みたが、部材の劣化が起こるので、スポット溶接と組み合わせた。研磨は、この頃開発されたイトバフがうまくいった。メッキはイオンプレーティングを採用した。そうして、1982年に「T701」として発売した。しかし、加工途中での歩留まりが悪く、製造原価が高くなった。初期には不良品も多く発生した。

以上が、チタン眼鏡枠開発の先駆けとなった2社の取り組みである。

第3章は、チタン眼鏡枠技術開発の中心をなした「チタン加工ロー接研究会」の活動を取り上げている。その中心をになったのは、株式会社ニッセイである。ニッセイは、金属材料を中心として研磨剤、バフ、ロー材などを供給する眼鏡材料専門商社である。1980年代初頭にチタンの軽さと耐食性を認識したニッセイは、金属溶解メーカーと眼鏡枠用のチタン材を開発したが、加工技術確

立の必要性を痛感したので、研究者を探し、1984年に眼鏡枠製造29社を組織して「チタン加工ロー接研究会」を作った。東京工業大学の恩沢教授を座長に招き、チタンの特性を学び、加工のための基礎原理を知り、実際の加工に応用するというところを行った。例えばTiCuNiロー材を使ったロー付けは大学実験室ではできることがわかっていたが、眼鏡枠の形と大きさで十分な強度が出せるかというのは別の話である。

ロー付けが溶接かで迷ったが、溶接は仕上がりを綺麗にできないので、目に見えない部分にだけ採用され、最終的に、恩沢教授から紹介されたスポット溶接機をロー付け機に転用する方法が採用された。その理由は、時間をできるだけ短く、また正確に管理できるという溶接機の利点と、ロー材を溶かすことによって部材の隙間を埋めるというロー付けの利点の両方を得られ、さらに、部材にロー材を仮付けしてからおこなうため、不活性ガス雰囲気を作りやすかったということである。このロー付け機が急速に普及することによって、福井産地に一気にチタン眼鏡枠製造が広まることになった。1984年後半には電極治具の改良によって疵が付きにくくなり、ロー材の量についての知見も確立し、1985年に接合技術は確立した。

伸線加工については、当初銅クラッドしてから伸線して銅を溶かすといった方法が使われたりしたが、大気中で熱間圧延時に発生する酸化皮膜が潤滑油代わりになることが発見され、伸線加工の生産性が向上した。鍛造では、チタンが金型に食い込む問題があり、部材を研磨用バレルに入れ、二硫化モリブデンという離型剤を塗布したバレル・チップによって部材に離型剤を塗布してプレスする方法が開発された。切削でも、同じ離型剤を使って、刃の角度や数を工夫することで、問題を解決した。ミゾ線や丁番やブロー智を作るための異形線は、ニッセイが依頼していた工場で独自に製造した。ミゾ線は、破断クレームが多かったが、チタンという合金を採用することによって解決した。研磨でも、従来の機器や研磨剤では十分な研磨ができなかった。バフ研磨ではイトバフをニッセイが紹介して普及した。

こうした技術の確立によって、福井産地のチタン眼鏡枠製造は拡大し、ピーク時には年間150トンのチタンを使用した。ニッセイは、ロー付け機を海外にも売ったが、イタリアにはそれは定着しなかった。数千人の従業員を抱えて工程の自動化が進んでいたイタリアの工場では、手作業に頼ったチタン加工がなじまなかったのではないかというのが、その理由についての考察である。

第4章は、チタン加工ロー接研究会に至る前の、いくつかの会社の独自の技術開発の試みを取り上げている。

株式会社昭和はチタンの板材や線材やパイプなどを中小企業に供給する会社である。福井光器が初めてチタン眼鏡枠製造に成功した頃から、福井産地のいくつかのメーカーからチタン材についての問い合わせがあり、直径3mmの伸線加工をする技術を持っていた昭和が供給を始めた。昭和と福井産地との取引は長くは続かなかったが、福井産地にチタンを知らしめた役割があった。

野尻眼鏡がチタンに最初に関わったのは1980年であるが、本格的に取り組んだのは、金高騰を受けた1983年である。高周波ロー付け機による接合を試み、問題はあったが製造した。また、ニッケルクラッドの眼鏡枠も、既存の設備を使って製造した。1984年には、チタン加工ロー接研究会に参加し、その後は基本的な工程はスムーズにできるようになった。

三工光学は、1980年にニコンからチタン眼鏡枠を提案された。クラッド材から始めたが、剥離

等の問題があった。その後純チタンの加工に取り組んだが、やはり問題は接合にあった。銀ローで試みたが、細かいリム線ではリム切れが起こるなどし、不活性ガス雰囲気を作るのにも苦労した。三工光学も、1984年にはチタン加工ロー接研究会に参加したが、それまでの自社での苦労が、その後の技術確立に役立ったと考えられる。

このような萌芽的な技術開発の試みがあって初めて、チタン加工ロー接研究会の活動が成果を上げたと考えられる。チタン加工ロー接研究会は大きな流れを作ったが、それに注ぎ込む支流がいくつもあったことをこれらの例は示している。

第5章は、分業を構成する関連技術における開発を扱っている。まずはメッキを中心とする表面処理である。アイテック株式会社(旧社名黒田メッキ)は、第1章でも触れられた、パラジウム・ニッケル合金のメッキ技術を確立して、金高騰時の福井産地発展に貢献した企業である。チタンへのメッキの難しさは、不動態皮膜剥離が難しく、そのために素材とメッキ層との密着が不十分になることから来ていた。最初に取り組んだのは、純チタンの専用スポット溶接機またはロー付け機をもたないメーカーがチタン眼鏡を作るために、ニッケル・クラッド材に代わるものとしてのニッケルメッキである。チタン表面をハタした上で応力の少ないニッケルメッキを施し、熱拡散処理してさらにニッケルメッキを15~20ミクロンつけるというものである。表面がニッケルなので、従来のロー付けができ、メッキ後はスエージングやプレス加工がないので、クラッド材のように表面のニッケルが割れたりすることもない。しかし、研磨過剰などの問題はあったので、メッキ後の研磨をできるだけ不要とするような加工が工夫された。この技術は1984年には確立した。このメッキは装飾目的ではなく、接合目的のものである。

1985年から86年にかけてチタン材への金の直付けメッキが開発された。その方法は、まずチタンに湿式メッキで金のストライクメッキをつけ、大気中熱処理し、チタンと金の熱拡散層を生成して密着強度を上げ、その上に、従来の湿式メッキで金やパラジウムなどの貴金属をメッキするというものである。1987年には、接合法としてのニッケルメッキが改良されて、ロー付け後にメッキ工場では化学処理によってメッキを剥がし、組み立てメーカーで研磨・組み立てした後、またメッキ工場ではチタン表面に直接ニッケルメッキを施し、熱拡散処理後従来の湿式メッキをするという方法も開発された。

眼鏡のメッキは、曲げてもメッキが剥離したり、割れたりしないことが求められるところが、通常のメッキと異なるので、既存文献を調べても適切な方法が見つからない。そこを独自に開発する必要があった。またハタシ液の独自開発も必要だった。1つの眼鏡枠でも素材が複合的であるということにも対処する必要があった。さらに、分業体制下のメッキ加工の特性として、不良品が発生した場合、再度研磨などするために、接合箇所の強度を保ちながらメッキを剥がす必要がある。そのために、自社で行った工程を把握していることが重要であった。

有限会社一島鉄工は、眼鏡枠用バレル研磨機を製造販売する会社である。従来、バフ研磨の補助または前工程に過ぎなかったバレル研磨を主役の地位に上げた発明を1980年に行った。それは、ドラム内部のラックが、ドラムが2回転する間に1回転するというものである。このダブル回転式研磨機は、チタンの時代に入ってその威力を発揮した。また、1980年には、湿式バレル研磨機も開発した。2000年には、ダブル・ローテーション回転バレル研磨機を開発し、チタン眼鏡枠の表

面の滑らかさと光沢の向上に貢献した。パフ研磨からバレル研磨に主役が移ることによって、仕上がりの均一性が増した。

有限会社服部製作所は、金型および部品を製造するメーカーである。1985年頃から組み立てメーカーからチタン材の加工を依頼されるようになった。多くの困難に直面しながら、離型剤の選択、チタン用のプレス機の導入、金型素材の変更や焼き入れの改良などに取り組んだ。分割多段階プレスや、途中工程での研磨なども導入した。それらは、工程の増加による費用の上昇をもたらしたが、それによって、十分な品質をもったチタンの加工が可能になった。

タナカフォーサイト株式会社は蝶足メーカーである。チタン材への挑戦は1981年～82年頃に始まった。箱の部分が破れたり、足が折れたりといった困難に直面しながら、最適な加工条件を見つけていった。接合ではガラス箱を使って不活性ガス雰囲気を作り溶接することから始め、スポット溶接機を導入して、ロー付けできるようになった。足の曲げ加工と箱のフライス加工も改良していった。

このように、分業の各工程を担う会社が、独自に、需要に応じて、チタン材を扱う技術を開発していったのである。

第6章は、チタン材供給側の大同特殊鋼を取り上げている。大同特殊鋼は、純チタンのインゴットを購入してこれを産業用の各種材料に加工することから始め、自社でインゴットに熔解するよう発展した。眼鏡枠用線材は、他の用途と比べて表面の疵が極めて少ないことが要求され、皮削りを2回行うことで対処した。形状記憶チタン合金やチタン合金も開発し、眼鏡業界に供給している。眼鏡枠用チタンという、他の産業用に比べて、非常に少ない供給量の材料でも、要望に応じて開発していったことが、チタン眼鏡枠開発を支える大きな力になった。

第7章は、眼鏡枠のための価値論を展開している。チタン眼鏡枠成功の基礎に「消費者に解るイノベーション」であったことがあると規定した上で、解りやすいとはどういうことかを追求している。そのために、使用価値を客観的価値と感性的価値に分類し、その中をさらに詳しく分類している。そして、個々の価値をいかに表現するかが課題であると述べている。そのために、価値を表現するためのデータ化の必要性を強調している。

第8章は、中国進出企業からの聴き取りを基に、今後の福井産地のために必要なことが何かを考察している。まず、かつて日本にとってお手本だったドイツやフランスの眼鏡枠製造がほとんどなくなり、欧州ではほぼイタリアだけになり、他方、アジアでは中国が急速に台頭したことを述べた後、中国製眼鏡枠の品質が、製造工程のデジタル化によって向上したことが述べられている。中国進出企業の聴き取りからは、高性能な最新式機械の導入状況や従業員の意識などが明らかにされている。コンピュータによる管理の増加によって熟練技術者がいなくても高い品質を保持するとともに、従業員の定着率が上がり、熟練技術者が増えるだろうことも予想している。また、中国市場そのものの急速な拡大、大学生の量と質の大きさからの技術の向上も予想されている。

以上をまとめて、終章では、産地の外とのコミュニケーションを増やすこと、デジタル化されにくい技術としての研磨工程での福井産地の優位性を自覚すること、優位性をもっている分野に集中することを提言している。福井産地が優位性をもっている分野としては、終章では触れられていないが、湿式メッキの分野では、いまだに中国産地は対応できていなくて、多様なデザインや色は難

しく、また品質面でも剥離などの問題を抱えているということも、第5章では書かれていた。中国の企業については、中国市場の拡大ということと一緒に考えるべきだと提言している。すなわち、発注ロットを大きくすることが、材料の開発などでも必要になるだろうというのがその根拠である。そして、最後に、川上から川下までの全工程のイニシアチブを産地がとれるような体制の構築を提言している。

#### 審査結果:

福井産地のチタン眼鏡枠開発の技術革新の過程を詳細に明らかにした研究は他になく、全くオリジナルな研究と言える。チタン加工の難しさが多段階の工程の随所にあり、それを1つ1つ、多くのメーカーが、協力しながらも独自に克服していった過程が良く記述されている。当時の開発に携わった人も高齢化し、今記録しておかなければ永久に失われてしまうであろう事実を丹念に掘り起こした作業は貴重なものである。

このチタン眼鏡枠開発がなぜ福井産地で起こり、ヨーロッパでは起こらなかったかについては、ヨーロッパの工場が、福井産地に比べて規模が大きく、一貫生産も進展していて、生産工程の自動化も進み、手作業に頼る傾向の強いチタン加工の導入が難しかったからではないかと考察されている。この見方も、技術と産業組織・産地形成との関係についての興味深い切り口を示している。ただし、水平的な規模の大きさと、分業か一貫かといった垂直的な組織の選択の問題とが区別しては論じられていない。とはいえ、これは新しい課題であり、理論家がさらに追求すべき問題であろう。

技術史論として見た場合、液晶ディスプレイ技術開発史研究への言及はあるものの、他の分野の研究成果や理論的課題がどこにあるかについては言及されていない。しかし、これも技術史家が理論化するための重要な事例を提供したという本論文の意義を減ずるものではない。

以上により、本論文は博士（経済学）の学位論文に値するものと認める。

2014年2月5日

主査 教授	岡 敏弘
副査 教授	服部茂幸
教授	原田政美