軽金属工業の回顧とその将来への期待

LIGHT METAL INDUSTRY REVIEW AND EXPECTATION

川 村 宏 夫*
K O I KAWAMURA

I 緒 言

会誌**軽金属**が此処に才4号の発刊を見るに到つたことは、我国軽金属工業の復興が愈々軌道に乗つた事を思わしめられ誠に御同慶に耐えない次才である。その才1乃至才3号を通覧するとき、各方面の研究報告が多彩に盛られ特に新進気鋭の諸氏が旺盛なる研究力を発揮されつつあることは心強き限りである。又才3号に於ては大屋¹⁾、田辺²⁾、松田³⁾等の斯界の大先輩の方々が誠に教訓に満ちた御所見を寄せられて居らることは、曾て直接間接の御指導の許に或は研究作業の促進に或は生産の増強に努力した時代のことを思い浮べて懐しさの念を禁じ得ないと共に又心からなる感謝を捧ぐるものである。最近協会より才4号に何か書く様にとの御要請に接したのであるが、私としては之等先輩の靴の紐を結ぶにも足りない者が其の間に伍して何か言う等は誠に飛んでもないことであるとは充分承知している。而しながら一方曾つて斯会の多数の方々から御支援を得て仕事をしたもの

であり、又之等の方々の為に御役に立つよりは御迷惑を御掛けしたことの多かりしを顧みるとき、洋々たる将来を控えての軽金属工業の再出発に際し多少なりとも御参考となり得ることを申述べすることは当然の義務であり、責任であることを自覚し此処に二、三の事柄を申述べさせて戴く次才である。終戦後の6年間は所謂格子なき牢獄の生活を続けて来たのであるが、技術や研究は繋がれたるにあらずとの信念の許に、東京の一角に文字通りのささやかな屋根裏研究室を設けて微々たる研究を続けているものである。かくもみすばらしい処ではありながらも昨夏は高松宮の御視察を賜わり、又時に大学諸大先生方も御来訪下さるという様な光榮にも浴しつつある。然しながら目下軽合金界の大道を大手を振つて歩く身分でもなく、テーブルよりこぼれ落ちたパンを拾つて糧とし、人に忘れられた路傍の美しいすみれを摘んでは自ら慰めるという形で僅に皆様の仲間入りをさせて戴いている理である。唯この意味よりして単に「昔はこうだつた」と腕を組み、あぐらをかいて語るのではなく今現に貧しいながらも皆様の仲間の一人であるものの言葉として御読み取り下されば無上の幸である。

II 過去の軽金属工業よりの教訓

我国の軽金属工業が所謂工業の形態を整え初めたのは昭和6~7年頃であり、支那事変の頃より稍軌道に乗り初め大東亜戦争に於て最高潮に達したのであるが、その結果より見るときその好むと好まざるにと拘らずその殆ど総てが戦力増強のために駆使せられたことは事実であり、而もその実績は傷しくも敗戦という冷厳なる審判を以て答えられた。之には大いに不服の方々もあられし事とは思われるが、同時に又自分は罪なしと他の人々を石にて打ち得る人もなかりし事と思われる。かかる結果となつた原因を探ねて行けば隙隙もないことであろうが、私が身に浸みて忘れ得ない三、三の事を掲げて見度い。勿論之等は次の戦への教訓というのではなく、凡そ工業生産の如何なる部門にも亦時を問わず、其の精神は適用出

* 工学博士、元海軍航空本部才一部才四課長、海軍航空技術廠製鋼部長、軍需省航空兵器総局合金課長
現 理科学材料株式会社顧問

来ることであると信ずるものである。

1. 基礎産業の確立が不充分であつたこと。

飛行機を生産すると言えば、機体や発動機工場の建設並にその所要工作機械等の準備を忘れる人はない。然し之に必要な材料並に素材加工工場の事は往々忘れ勝ちであり、いわんや更に基礎的な地金の生産のことはその次となり、その又原料となる原礦石のことに至つては最早や問題にもされないという結果になり勝ちである。大東亜戦争前後の軽金属工業の生産増強の跡を顧るとき全くこの通りで恰も敗戦街道を駈足で歩いた感が深い。勿論関係当事者は何れも全力を尽して生産増強を計つたのであつたが、唯その順序が元より末であるべきが、未より本であつたため、いざ本当に気がついた時はもう何ともなくなつていたのである。それでも昭和 19 年末頃にはアルミニウム精煉工場の施設能力は年間 20 万屯に垂んとする大能力を保有するに至つていたが、時既に南方海上交通が乱れ初め、之等の工場に食わせるべき原礦に事欠き、北支の鑛土、滿洲の頁岩と騒いだが之等も所詮は海を隔てた外地のもので、最後に伊豆の明礬石開発へと強引に進んだのであるが、結果は殆ど得るところがなかつた。例えも少し戦争が長引き国産原料の開発が出来たとしても之を経済的に稼行する充分な技術があつたとは言えなかつたので、何れは五十歩百歩の差でしかなかつたであろう。之等のことより今後の軽金属工業の再興に際して如何なる事態に際しても根本の原料確保に遺憾のない様計画実施される様関係各方面の方々に切に御願ひ致し度い。その手段としては政治的、経済的且つは又技術的に色々あることであろうが、要は他力のみに依存せず、自主的に原料の確保をなし得ることである。之を要するに原礦から最終製品に渡つて本当の意味で均合のとれた企業計画をなすことが必要である。

2. 生産技術の重要性

凡そ一つの工業を起すに際し、之に関連する技術を見捨てる人はない。問題は其の程度と徹底性である。軽金属に関する限り嘗ての我国の技術は必ずしも諸外国に比し劣つていたことばかりではなく、中には終戦後米国其他占領国の人々を驚かし、或は其の技術をそれら諸国に逆輸入した例も少くない。然しながら事は其の弱き処より破綻を来す。前項にも述べた様にボーキサイトの欠乏に際してその代用原料の精煉法の如き当時関係者の涙ぐまじき努力により、外国に於てその比を見ざる体験は得られたが、その成果は思ひ様に得られなかつたし、又之に伴ひアルミニウムの品位の低下をどうにも喰ひ止め得なかつた。その対策として合金の方で多少の不純物の多い地金からも、優に超デュラルミンの性能を保有する ND 合金を発見したのは大ヒットたりしを疑わない。板材の多量生産用として数組のストリツプミルが設計され

一部製造に着手されたが結局間に合わず、地金の欠乏と共に愈々その意味を失つたのも、産業機械が軽金属工業への重要な基礎産業であると共にそれ自体の製造技術の発達を等閑に附していた結果であろう。鋳物は軽金属製品の相当多くの部分を占めるもので、特に航空発動機としては重要部品を構成するものである。処が愈々航空機の大量生産という段階となつて之を阻んだ最大のものの一つは鋳物の歩留不良問題で⁽⁴⁾あつた。液冷発動機の曲肘室や気筒群等の大物が問題となつたことも今更考えるに冷水を浴びる思いであるが、小さいものでも気化器の筐体は問題中の問題であつた。所謂「千三ツ」という流言までも飛んだ。即ち 1,000 個の内良品僅に 3 個の意味であるが、一時はこんな最悪の時期もあつた。鋳物の歩留不良は唯でさえ少い地金を鋳物工場に死蔵することとなり、機械工場は他の部品が出来ても気化器がないために発動機の出荷が出来ぬ。結局飛行機の生産は激減するという結果を招来したこともある。鋳物は廢物とも言われ、其の製品の良否に関係する要素が極めて多岐に渡り、之を科学的に決定することが極めて困難である。従つて其の研究も遅れ勝ちとなり、自然経験が大きく物を言う世界となり易かつた。之は又急激な増産を要求せられるとき熟練工を短時間に養成することも出来ず、前述の様な惨憺たる事態を招来する原因となる。元來鋳物は科学的研究が困難とされつつも、米英独等の最近の文獻^{(5),(6),(7)}によれば能くこの困難を打破して斬新な研究が着々進み之を現場作業に応用しつつあるのが見られる。このことは鋳造法に関する研究は勿論困難ではあるが、適切なる方法を講ずれば不可能ではないことを示している。軽金属誌にも数種の研究発表^{(8),(9),(10)}があるのは誠に喜ばしいことである。殊に最近東北大学の五十嵐教授の許で此の方面の研究⁽¹¹⁾⁻⁽¹⁶⁾が活潑化し初めて居るのは同教授が我が国に於て叙上の事実を最もよく知れる一人であられるためであろうと竊に尊敬を払つてゐる次才である。曾て我国に於て大型液冷発動機の鋳物の成績悪く其の歩留 30~60% が尙お一流工場の実力であつた時代に、獨国に於ては全数 X 線検査を行つた上の歩留が 90% 以上であつたことから見て、かかる大型で且つ極めて複雑な鋳造品でもやり方によつては斯くも好成績を挙げ得るものなることを一応記憶して置く必要がある。然しながら今日は既に之等の時より 10 年以上を経過している。この間平戦時用の何れを問はず諸機器類の構造性能は躍進的に変化し、従つて鋳物としての構造も根本的に変化し要求性能とじて耐熱性が一段と重要性を帯びて来ている。又鋳造法としても特殊鋳鉄冷却乾燥法の利用⁽⁵⁾、圧力又は真空による湯廻りの向上⁽⁶⁾、大型ダイ鋳物の採用、各種精密鋳造⁽⁹⁾法等其の進展の著しきには驚くものがある。終戦後数年間の技術空白時代を

持つ我国として之等の進歩に逐従するだに大変なことではあるが、然し今からでも遅過ぎることはない。是非やらねばならないことである。

扱て之等の問題解決の具体案は然らば如何にすべきやということになるが、之等生産技術上の研究は之を実施すべき各工場自体が各々その生産品目に直接関係する問題の解決に当るのとは当然であるが、之を連絡指導すべき場所としては官の研究機関が当るべきであろう。陸海軍無き今日としては東京大学生産技術研究所、通産省機械試験所等に御願いすべきであろうし、亦出来得べくんば両者関聯部門が合体し一本として国家的技術の指導連絡に当られるのが理想であろう。之等指導機関としては自らも亦一般共通事項、稍基礎的事項並に民間工場としては実施し難い問題の処理等を担当されることが望ましい。又之等技術連絡の場所或は舞台として本軽金属協会が活躍することとなれば殆ど理想に近いものとなるのではあるまいか。

3. 材料技術者と機械乃至設計技術者との協力連絡

私の経験として我々材料技術者をよく使い、材料に関する資料を要求し、或は設計工作上材料方面からの意見を求め、我々と有機的な関係を保つた機械乃至設計技術者程之の方面の優秀技術者であつたと思つている。鋳物を例に取るならば彼の歩溜不良を来した有力な理由としては設計上鋳造技術者の意見を充分聴取せず、生産に移り後より意見が出て頻繁に設計変更を行つたことが数えられるであろう。又合金関係としては資源逼迫の極に達しても尙お戦時規格の採用を快しとしなかつた設計者があつたため、材料を益々涸渇に陥れたこと等数えれば数限りないことである。之等に対しては何れの責任とも言うべきでなく、両者間の連絡協調の不十分なりしに帰すべきであろう。此の方面のことは一流の諸外国では極めて円滑に行われていると聞いている。或は一つの国民性かも知れないが是非改めなければならないことである。尙この事は単に技術者間の問題たるのみならず、その精神は技術行政方面の人々に対しても言い得ることであるし、更に延長すれば技術者にあらざる高級為政者までも及ぼして考えらるべきことである。米國国会に於て技術に關聯ある議事が進められるとき技術出身にあらざる議員でも委員に挙げられた様な場合は彼の完備せる国会図書館を利用して充分なる資料を調査研究し、いざ討論という時には純技術の見地より見ても正肯を失しない様な堂々の論陣を張ると聞いている。之でこそ真の文化國家の国会議員であり、国民が安心して国政を委ね得る政治家と言えよう。軽金属協会に於てはこの意味から極めて有用と思われる資料の編纂も実施されているが、之を単に軽金属関係技術者のみならず関連ありと思われる各方面の人々にも頒布される様配慮されるれば、叙上の目的に

大いに役立つものと考えられる。又研究会、講演会、講習会等の実施に當つても其の内容、実施方法の上に之等のことを特に考慮に入れた機会を作ることも必要ではあるまいか。

II 軽金属の特殊用途と之に対する考慮

我国の軽金属の発達には主として兵器特に航空機の要求に刺戟されて進んで来たし、特に戦争未明には一切の民間用途を禁じるまでに至つていたので、殆ど軽金属即航空機と思われる程であつた。終戦と同時に之等の用途は忽然と無に帰してしまつたが、当時材料涸渇のどん底にあつたと言え、各航空機や材料工場に流動或は貯蔵されていた材料や地金類は全体とすれば莫大なものであつた。終戦後暫くの間は町行く荷馬車の上や戦災家屋の屋根等に會て当時者達が心血を注いで作つた超デュラルミン板が SDCH のマークも鮮かに見かけられることの多かつたのは誠に涙をそそられる思いであつた。

扱て平和となつて見れば、こんな感傷的なことは別として軽金属の平和的な面も適正に考慮された用途が確立されねばならない。終戦直後ここぞとばかりアルミの鍋釜類が市場に汎濫したが、之も長年製造を禁ぜられていた反動として已むを得なかつたであろうし、又その必要も實際あつたであろうが、軽金属は之を適当に合金し、又成形すれば極めて広範囲の而も優秀な性能を発揮するものであるから、その用途に応じ充分研究すべきであろう。現在の軽金属関係者が勿論之等のことを見逃す理もなく各々努力されていることは私もよく了解出来るし、又軽金属協会も此の方面に万全の陣を張つて居られるのも充分見える処である。処が此処に一つ問題がある。即ち平和産業的用途に対しては過去の兵器乃至航空機用の材料を作つた経験からすれば極めて安易のものではないかとの考えに陥りはしないかと言うことである。勿論建築、船舶、電力関係、石油工業、車輛、橋梁、鉤山関係等の大部分は一応此の考えを以て進んでも差支えない範囲もあるが、同時に之等平和産業的用途としては兵器乃至航空機に対する場合と根本的に異なる点が一つある。それは疲労、腐蝕等を考慮に入れた耐久性が桁違いに大きく要求されることである。最近航空機の寿命は格段に延長されたとの事であるが、それでも未だ時間を単位としている程度（数千時間）である。然るに例えば鉄道車輛を例にとると従来鑄製車輛としては其の寿命は 30 年を標準として来た様である。軽合金車輛としては重量軽減其の他に依る特性を期待しているから、寿命としてそれまでの要求はしていないとは言いながらも、数千時間程度では話になるまい。又工作上から見ても出来得べくんば溶接を極力使ひ度いであろうし、又鉚接するにしても従来航空機では使わない様な大径のものも要求される

し、又一度組立てると容易に検査が出来ない処で而も雨水の侵入の恐れがあると言う部分もある。或は鋼製部分と接合しなければならぬ処もある。尙お多くは強度もさることながら剛性が重要視される場合が多く、鋼材とは弾性率の格段に異なる材料として構造上或は特殊型材の製造上の諸問題等も起つて来る。他の用途に就ても亦各々之に類する特殊要求がある。斯く観じ来ると平和産業的用途だからと言つて手放して安易な気持ちで飛び込む事は危険であるし、又之を利用される側では多くは軽金属の取扱いに不慣れの方面が多いので設計工作上に就ても充分の協力が必要である。

以上は概して大きいもののお話であるが、次に極端に細いものに就て述べて見よう。

写真器や双眼鏡等は戦後の重要な輸出品として脚光を浴びて来たものであるが、その筐体にはアルミ又はマグネ合金鋳物が使用されている筈である。独逸製写真器として王座を誇りライカとコンタツクスを比較すると、後者は機構上前者に比し遙に勝つた処があるに拘らず、ライカが尙且つ広く愛用される一つの理由はその軽量なる点にあると言われている。私はコンタツクスを持つてゐるが、先日国産写真器中オナーの高級品と言われる某写真器を手を持つ機会があつたが、その七つ道具式に至れり尽せりの構造なることに驚いたが、更に驚いたことは私のコンタツクスより遙に重いことである。世界市場に雄飛せんとすればこれ等の点をも考慮しないと広く愛用されるには至らないではないかとの心配を起した次第である。此処には亦小型薄肉鋳物の確実なる多量生産技術の実現の必要があり、且つ合金としての耐蝕性並に防蝕法等に関しても材料技術者の協力の余地がある様に思える。又双眼鏡の筐体にはマグネシウム鋳物が用いられているが、之にレンズを留めるために曲げ加工を施し度い処がある。それには合金種類の撰択、加工前の熱処理等相等等専門的知識を必要とする。

電話器、録音器、拡声器等の音響機器等も亦最近我国に於て盛となつた工業の一つである。之等には何れも音響振動板を必要とし、その材料としては大部分がデュラルミンの薄板が用いられている。厚さは厚いもので0.05～0.10mm、薄いものになると0.01～0.05mm、で更に特殊なものでは0.005～0.008mm、程度のものまでである。仕上の形状が可成り複雑であるので、加工性が極度によくなければならぬし音響性能を発揮するためには所要の物理的性質を保有しなければならない。又聯かの不純物や金属間化合物が存在しても、之れが最終厚さに比較し得る大さとなり圧延後ピンホールを生ずる原因となる。殊にマイクロフォンや電話器の送話口に用いられる部分では耐蝕性を特に考慮しなければならない。戦時中航空機用として作られた所謂高級デュラルミン板を素

材として之等の振動板を作つてもその用途に適するものが極めて稀であつた事実等より見ても決して馬鹿に出来ない問題である。特にその圧延法に至つては凡そ従来の航空機で最低厚さ0.25mm程度であつたことを思い合わせる時、想像外の技術と慎重さが要求されるのである。而も最終性能が試験機で計り得ない人間の音感に訴えるという理であるからその困難程度は察し得られると思う。未だ未だ他にもこんな例は少くない。

之を要するに何れの用途に対しても各々其の特徴とする要求があり、之に適応する様材料技術者は不断の研究が必要であり、又何れは再開されるであろう航空機の製造に際しても之等のことはよく活用さるべきことが期待されるのである。

Ⅲ 我が国のマグネシウムとチタニウムの問題

マグネシウムは曾ては我国の重要な国産資源たる地位を占めたこともあつたが、終戦後の今日となつて見れば之の原産マグネサイトも朝鮮、満洲であつた関係上もう手の届かぬ処となつてしまつた。マグネシウムが工業的に使い初められたのは昭和8～9年頃で故後藤教授を委員長とするマグネシウム懇談会なるものを組織し、熔解法、鋳造法、防蝕法等の初歩から研究したものである。今日その主流をなした方々が大部居られないのは淋しい気もするが、後に之がアルミニウム関係と合流したのが今日の**鋳金属協会**の前身ともなつた理である。マグネシウムの普及にはかかる努力が払われ、其の後の隆盛を来したのであるが今日では殆ど地金の新生産無く、僅に過去の生産品の残留品を以て一部の用途に応じて居る現状である。最近之が再開の話も聞いているが、先づ原料問題をどうするか、又精煉法としても過去の方法は既に旧式に属し今日から見れば経済的にも不適当であろうし、尙旧工場は既に再使用に耐ふべくもあるまい。

此の間に於て最近金属チタニウムの製造が工業的に実施可能となり、米国に於てはその用途の拡張と共に生産も急激に増加しつつある由である。我国に於てはその原料を含チタン砂鉄に求むるときは極めて豊富な国産資源を有することとなり、誠に心強き次第である。その精煉法も各所に於て研究され、一部は量産の域にも達している。但しその品質に就ては尙研究の余地があるので、之が改善に一層の努力を払わねばならないと思われる。その用途は今後航空機機体構造材料として又原動機耐熱部分材料として欠くべからざるものと予想されているし、一方その耐酸性、軽量等の特質を考へれば化学工業への用途も数えられるし、尙弾性率比較的高く比重少なることは音響振動板等にも適合性が考えられる。私は既に数種の内外製地金に就き加工性の試験を行つた結果、国産

品中にも能く $1/100\text{mm}$ 以下の薄板となし得る程度の延性を有するものもあることを確認している。斯の如くチタニウムは我国として極めて特徴ある金属であり、その比重 4.5 で言えば軽金属に属するものである。我國の軽金属界はアルミニウムマグネシウムの他にこの新興金属の工業的育成に充分の力を尽すべきであろうと考える次才である。

V 軽金属に於ける日本の技術水準

一般的に言つて我國の技術水準が外国に対して余り誇り得ないことは既に述べた如であるが、中には世界的に傑出した事実もない理ではない。ボーキサイト代用原料の処理法の研究の如きも最後の成果は先分得られなかつたとは言え、斯の如く広く各種の原料に対し研究した体験は世界的のものと言えようし、更に合金の方では ESD, ND 等の強力合金が最近米国規格中に 75S, 76S として殆ど同様なものが採用されているし、地金品位低下の対策として研究された戦時型超デュラルミン ND は最近の 17S には多分にその精神が盛られていることが覗われる。之等の事実を考へれば我が国の技術も努力次才では充分世界的水準を歩き得るのみならず、更に進んで之を lead することも満更夢ではない。之には唯官兵協力その研究に邁進することである。特に青年技術者の奮起を御願いし度い。

然るに斯くも盛なりし我國の軽金属界も終戦と同時に高級合金の研究製造方面の中断と共に忽ち落伍者たるの運命に置かれている。例えば前述の ND 合金の如きは当時超デュラルミン SD の性能を殆ど遺憾なく發揮し得たのであるが、昭和 25 年某一流軽合金会社より発表された ND の性能は抗張力 36kg/mm^2 となつて居り、曾ての普通デュラルミン D_2 の 38kg/mm^2 よりも更に 2kg/mm^2 下廻つて居る。(ND 発明当時抗張力 45kg/mm^2) 又デュラルミン合板 DC は 34kg/mm^2 という低い値となつて居る。一方米国の 17S (普通デュラルミン) は 1935 年 Alcoa の型録によれば抗張力約 41kg/mm^2 であつたものが 1950 年の型録では 44kg/mm^2 と 3kg/mm^2 の向上となつて居る。この一例を見ても戦後の我國の軽合金は強力合金に関する限り進歩が停止したと言うよりは逆方向に走つた結果となつて居る。之を挽回することこそ目下の急務ではあるまいか。最近船舶、車輛等に軽合金の利用が盛に提唱せられているのは誠に結構なことではあるが、その設計書を見ると材料記号が米国式のものをそのまま準用している例が多い。然らば果してこの記号は性能に於ても米国規格そのままを要求しているのであるか、或は日本規格相当材を表示する一記号として借用しているのであるか、或は又設計上の強度計算は何れの数値に依つたものであるか、等の諸点が極めて不明瞭で

ある。殊に航空機の修理、製造を實行するとなれば今日の処米国規格をそのまま適用されるものと見なければならぬ。各軽合金会社は之で果して直に受託し得られるであろうか。工員再訓練、生産技術の再検討に依り至急之に應ずる態勢を整えなければならぬ。又我國には曾て立派な航空機用材料規格があつたが、之を基礎として叙上の我國の現状に即した軽合金規格を早急に制定するの要があると思う。目下各工業部門に於て必ずしも相互連絡なく、軽合金化が進んでいる様であるが今の内に統一をとらなければ時機を失すると飛んでもない混乱に陥る心配がある。このことを斯会の当事者に特に訴へ度い次才である。

VI 結 論

以上軽金属工業の回顧を巡つてその将来に及んだのであるが、何分にも目下の私は現在斯界の主流を外れた立場にあるので述べし如く、極めて当らざる如多きを恐れるものである。唯その中に多少でも何かの御参考となることがあれば皆様の心に止めて頂き度いと願うものである。此処に我が軽金属界が一日も早く曾ての殷盛を復活し、世界に活歩する時代の來らんことを心から期待し其の将来を祝福しつつ筆を擱くものである。

文 献

- 1) 大屋 敦 軽金属、才 3 号、昭和 27 年 5 月 (1952),
- 2) 田辺友次郎 //
- 3) 松田 孜 //
- 4) 川村 宏矣 生産技術、才 1 卷才 1 号、昭和 21 年 9 月 (1946),
- 5) (川 村) 生産技術、才 3 卷才 2 号、昭和 23 年 2.3 月 (1948), P. 28.
- 6) (川 村) 生産技術、才 3 卷才 8 号、昭和 23 年 9 月 (1948), P. 24.
- 7) E. L. Cady, Sci. Am., August (1917), 67.
- 8) 森永卓一、池野尙志 軽金属、才 1 号、昭和 26 年 11 月 (1951),
- 9) 管野 友信 //
- 10) 池野 尙志 軽金属、才 3 号、昭和 27 年 5 月 (1952),
- 11) 大平 五郎 日本金属学会誌、13 (1949), No. 1 P. 40.
- 12) " " 13~14 (1950), No. 1, P. 15.
- 13) " " 13~14 (1950), No. 1, P. 27.
- 14) " " 13~14 (1950), No. 9, P. 24.
- 15) " " 13~15 (1951), No. 7, P. 307.
- 16) " " 13~15 (1951), No. 8, P. 361.
- 17) 川村 宏矣 昭和 27 年春期金属学会大会発表