

## ベリリウムの金相學

所員 理學博士 宇野 傳三

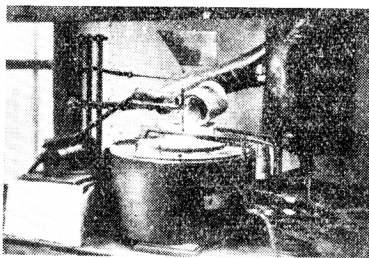
ベリリウムと申します輕金屬は丁度今から 133 年前に Vauquelin と云ふ人に依つて初めて發見されたので御座いますが、其後 30 年程経ちまして斯の Wöhler に依つて其の製造法が講ぜられたのであります。Wöhler は御承知の Berzelius の高弟でありまして、彼は其の當時アルミニウム並にマグネシウムを初めて金屬状態で遊離したのに力を得てベリリウムの鹽化物をカリウム又はナトリウムで還元してベリリウムの遊離に成功したのであります。然し乍ら當時彼が作つたベリリウムは極く小さい薄片で御座いまして、到底實用的のもの迄はならなかつたのであります。

其後約 100 年餘りと云ふものベリリウムは僅かに純學理的の生命を繼いで居たに過ぎないで應用上の價值は全く認められなかつたので御座います。それが最近數年間に工業上の特殊の要求からして勢ひこのベリリウムの利用法と云ふものも講ぜられつゝある様な機運に向ひまして、現今では少くとも歐米に於ましては理論金相學並に應用金相學兩方面の時事問題になつて居ると云ふ次第で御座います。然らば此の輕金屬は果して將來豊富なる生涯を持つて居るか否うかと云ふ事で御座いますが、之れはこれから御話し致します事柄を皆様に御聞きして頂きまして、皆様から結論をして頂き度いので御座います。

抑々このベリリウムと云ふ名の起りは其の原礦 Beryll より來たのでありませう。我國に於ては美濃の綠柱石なる名を以て知られ、ベリリウムの含有分は 3.6% に過ぎないのでありますが、外國に産する Bromellit, Phenakit, Bertrandit と云ふのは夫々 56.2%, 16.2%, 15.2% のベリリウムを含有する豊富なる礦石であります。

之等の礦石からベリリウムを採るには從來はアルカリ金屬或はアルカリ土金屬例ばカリウム、ナトリウム、マグネシウム等を以てベリリウム鹽類を簡單に還元して居たので御座いますが、之では到底大量的の生産には種々の關係から不便なので是非其の礦石に適當なる Flux を加へて融液の状態で電解する方法によらなければならぬと考へます。

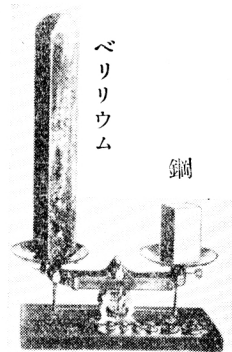
之れに就ては最近數年間に種々の方法が歐米に於て發表されて居りますが、茲では簡單の爲めベルリンに在るシーメンス、ハルステク會社でやつて居る最新の製造法のみを御話する事に致します。之れはバリウムとベリリウムとの複合弗化物を特殊の黒鉛坩堝に入れて之を同じく黒鉛製の箱に收め其の箱自身を陽極として、坩堝の上方からニッケル製の回轉し得べき圓筒を釣り下げて之を陰極として電解するのですが、ニッケルの熔融點とベリリウムの熔融點とが餘り違はないから作業中に陰極が熔ける虞れがあるので、圓筒の中に水を通じて冷却する様になつて居ります。併し最近では水を通ずる事が厄介だと云ふのでモリブデン或はタングステンに陰極に使ふ試みがある様で御座います。斯様に致しまして此の装置に電流を通じて約 1400 度の溫度に昇して 3 時間位も操作を繼續して居りますと、原礦の總含量の 5 割位のベリリウムが陰極の周圍にくつ付きます。其の方法等に就きましては幻燈で御説明致します。では幻燈を一つ御願ひ致します。用意が出来る迄御話しを續けませう。ベリリウムの精製法に就て申しますに電解で得ましたベリリウムは幾分電解融液や酸化ベリリウム等の夾雜物を含んで居りますから、之をベリリウムと反應しない而もベリリウムよりも比重の大なる金屬鹽類例ばバリウム鹽類の如きと一緒に熔融させますと、夾雜物は熔滓になつて一般の場合には反對にベリリウムの融塊の下層に沈積しますから、簡単にベリリ



第一圖 高温電解装置

ウムを其の夾雜物から分離する事が出来ます。幻燈第一圖はベリリウム採取の高温電解装置にして中央下方は黒鉛製の爐で陽極となり、上方の細い管はニッケル

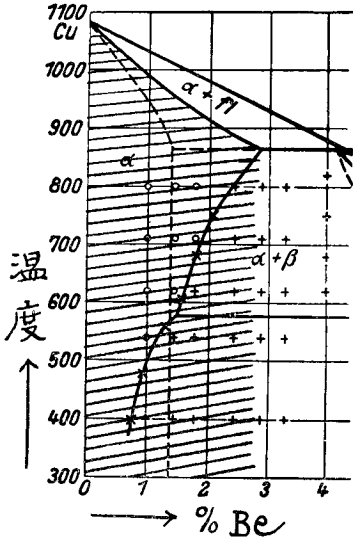
圓筒の自由に回轉し得る陰極で、其の中に水を通して冷却せしめる様になつて居ります。向つて右方の大きなタンクは高熱の爲め昇華逃出するベリリウムを冷却回収する装置で、是に依つて 90%内外の回収は容易に出来るのであります。



第二圖  
ベリリウムの比重

第二圖は斯様にして得たベリリウムと鋼との比重を比較したもので、即ち鋼の約四

分の一弱に相当し硬さは焼入鋼に匹敵するのであります。今迄の御話しはベリリウム本體としてでしたが、之れから少しベリリウム合金に就て御話を進め様存じます。其中でも一番面白いのは銅の中にベリリウムを少し入れた場合であります。茲に示す

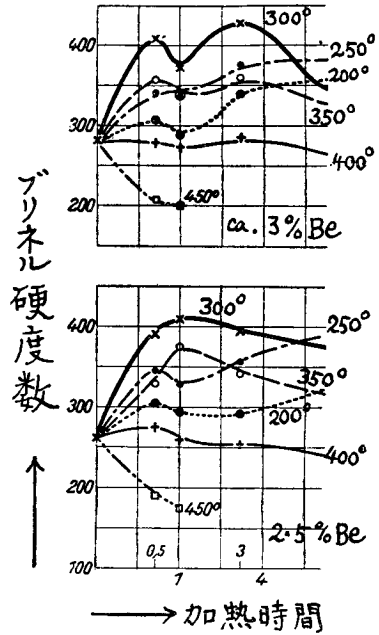


第三圖  
Be-Cu 合金の状態圖

第三圖は其の合金の状態圖でありまして、陰影線を附した領域が、通常有用合金として用ひられるのであります。

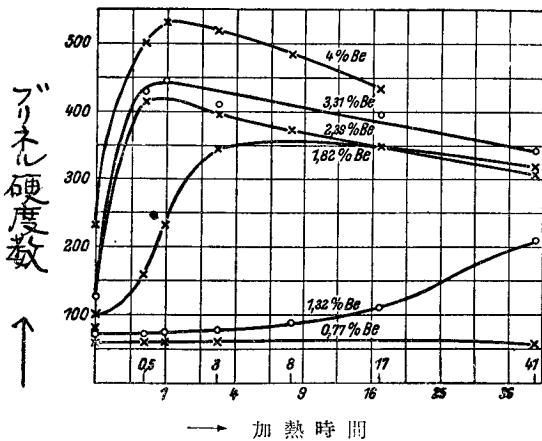
第四圖は此の合金の焼戻温度と焼戻時間と硬度との間の關係

を示す曲線であります。普通に焼入れを申します



第四圖

Be-Cu 合金の熱處理に依る硬度の變化



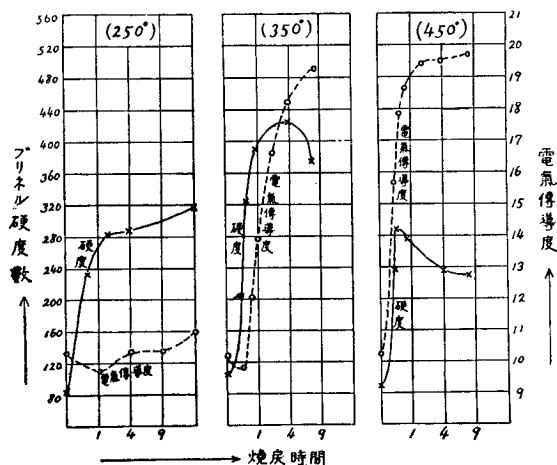
第五圖  
Be-Cu 合金の成分の相違に依る硬度の變化

直ぐ鋼を想像して、即ち水淬したものが一番硬いと考へられて居りますが、此のベリリウム青銅では水淬した時は軟くて焼を段々に戻して行くに硬度が昇つて参りますから加工上好都合であります。即ち焼入後加工したものを適度に焼戻して希望する處の硬さにする

事が出来ます。圖に示す様に 300 度内外で加熱した場合若し亦加熱時間を長くすれば

250 度でも宜しい。兎に角 400 位のブリネル硬度數を示し丁度焼入した鋼と同じ位の硬さに當ります。

第五圖はベリリウム含有量の相違に依る硬度の變化を示す曲線でありまして、茲に御覽の通り 4% Be の時は非常に大きい硬度を示して 550 に達せんとして居りま



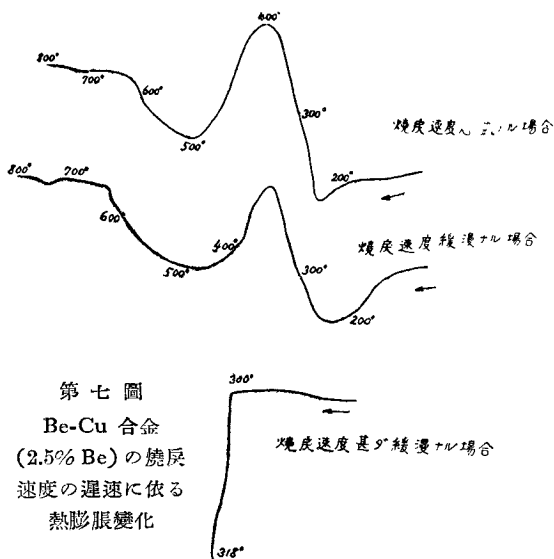
第六圖  
Be-Cu 合金 (2.5% Be) の焼戻の相違に  
依る電気傳導度並に硬度の變化

す。併し乍ら此の合金は水淬した儘にても已に 300 餘りの硬度數を示すので、或特殊の場合の外は工作上の不便から使用出來難く、普通の目的には 2% から 3% 位が尤も良い様に思はれます。

第六圖は電気傳導度或は硬度の焼戻溫度並に焼戻時間との關係を示したもので圖の如く 350 度では電気傳導度と硬度とが相並行して上昇致します。今比較の爲めに燐

青銅を取つて見ますのに電気傳導度 11 なる値を示しますが、之に對して本合金は 19 以上の値を示して居ります。而も其硬度が大でありますから電線としては甚だ好都合かと思はれるのであります。

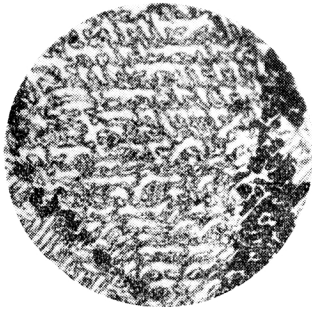
第七圖はベリリウム青銅の適當なる焼戻溫度を簡單に見る方法で御座いまして、私等の作った特殊の熱膨脹計で測つた結果であります。加熱速度大なる時は 400 度で合金は收縮を致しますが、ゆつくりと加熱するに 300 度で急に收縮



第七圖  
Be-Cu 合金  
(2.5% Be) の焼戻  
速度の遲速に依る  
熱膨脹變化

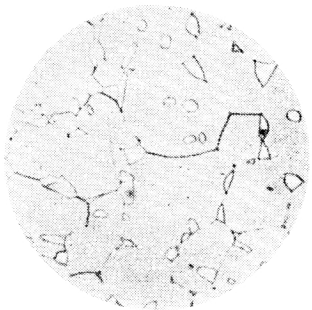
が起ります。此の時が最大の硬度を有する事は第四圖との比較に依つて明かでありませう。

第八圖は砂型に鑄造した時のベリリウム青銅の顯微鏡組織でありまして、御覽の通り



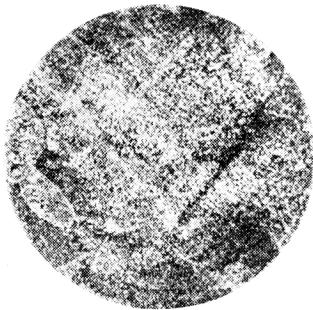
第八圖  
Be-Cu (2.5% Be) 合金の  
鑄造組織 (倍率 50)

り融離に依る不均一な固溶體組織を示して居ります。又  $\alpha$  固溶體の外に  $\beta$  固溶體の幾分を見る事が出来ます。今之を約 800 度で 2 時間程焼鈍して水淬するに第九圖の様な殆ど均一な組織を示して参りますが、然し焼鈍時間が短いから圖に見る様な多角形状の  $\beta$  が残つて居ります。之を更に 350 度で長時間加熱しますに第十圖に示す様な微細な無数の結晶子が現はれて参ります。之れは  $\gamma$  固溶體でありまして此の時に大なる硬度を示すのであります。



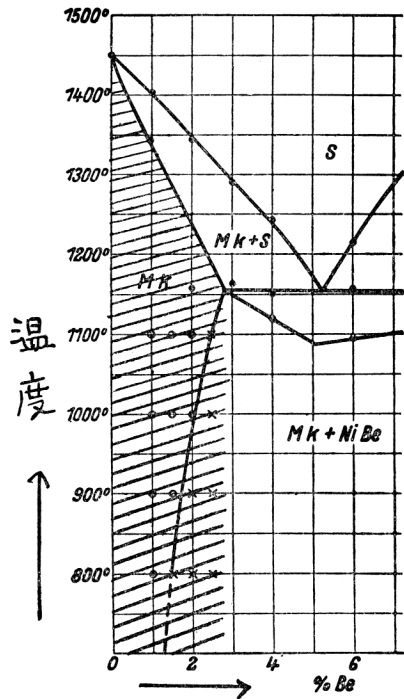
第九圖  
Be-Cu 合金 (2.5% Be) の  
焼入組織 (倍率 250)

ベリリウム青銅は此の位にして、次はニッケルにベリリウムを入れた場合にはどんな合金が出来るかを極簡単に申ませう。

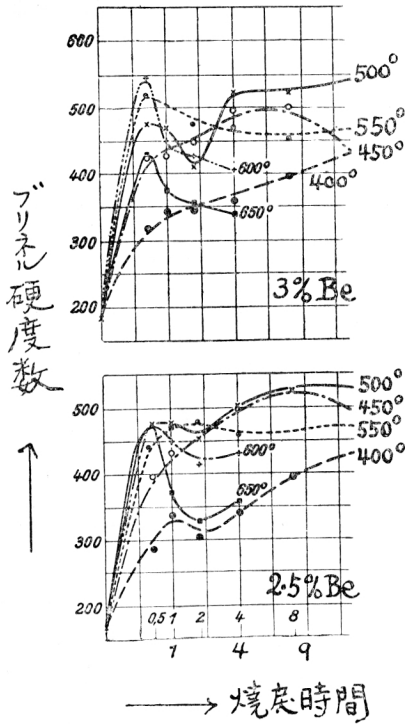


第十圖  
Be-Cu 合金 (2.5% Be) の  
焼戻組織

第十一圖は Be-Ni 合金の狀態圖の一部分で陰影線を附した領域が有用合金として使用されるのであります。

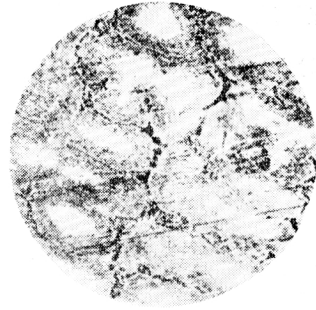


第十一圖  
Be-Ni 合金の狀態圖

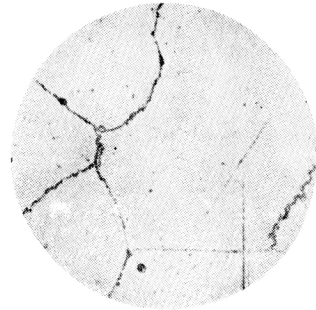


第十二圖 Be-Ni 合金の焼戻に依る硬度の變化

第十二圖は焼戻温度と硬度との關係を示す曲線であります。1100度位で焼鈍して水淬した合金を500度乃至600度で焼戻するに非常に高い硬度數を示し普通の焼入鋼を凌駕する値となるのであります。



第十三圖 Be-Ni 合金 (3% Be) の鑄造組織 (倍率 250)



第十四圖 Be-Ni 合金 (3% Be) の焼入組織 (倍率 250)

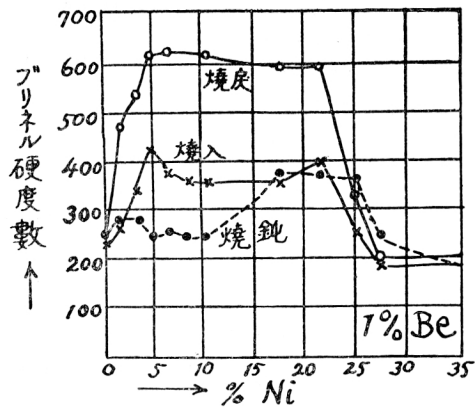
第十三圖は3% Be を含有

する合金の鑄造組織でありましてやはり融離に依る不均一組織を示して居ります。

第十四圖は此の合金を1100度で1時間焼鈍して水淬した組織で御覽の通りに均一な固溶體組織を示して居ります。

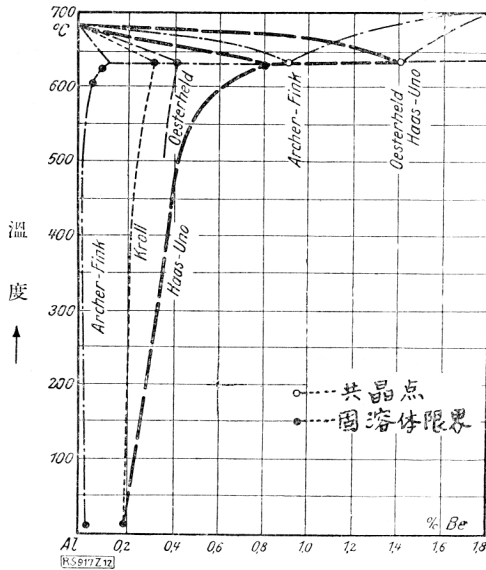
之を550度内外で焼戻するに、第十二圖の様に非常に大なる硬度を生じて特殊鋼の代用品になる譯であります。

次にはベリリウムと鐵との合金の御話ですが、此の場合にはベリリウムを3%位入れても餘り硬度は昇りません。然し乍ら之に尙ニッケルを5%位入れ適當に



第十五圖 Be-Ni-Fe 合金の熱處理に依る硬度の變化

焼戻するに、容易に 600 以上の硬度を示すのであります。焼入鋼でも餘程炭素の多いものでないに斯かる大なる硬度を示さないのであります。

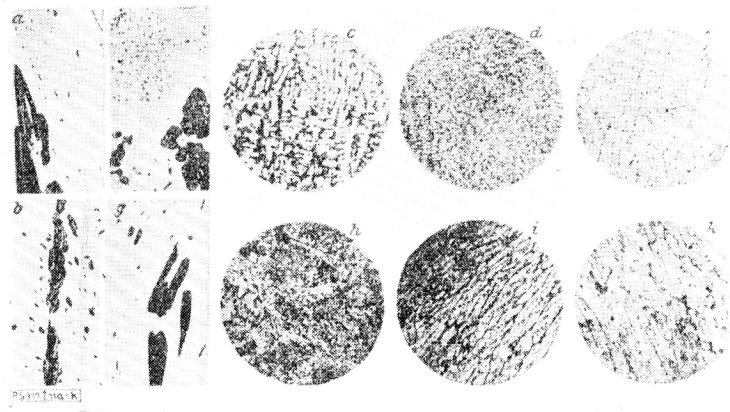


第十六圖 Be-Al 合金の狀態圖

次にベリリウム輕合金の場合を申しませう。先づアルミニウムとベリリウムとの合金ですが、中々精確な狀態圖を作る事が困難で従來も種々の學者に依つて研究された結果が區々になつて居るので、私等が昨年之をやり直しました。

今之れ等の狀態圖を一括して一枚の圖に示して見るに第十六圖の如くなります。

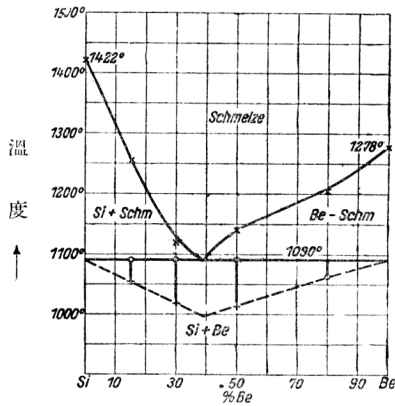
第十七圖の上段 (a, f, c, d, e) は Archer-Fink 兩氏の研究で下段 (b, g, h, i, k) は私等の研究であります。



第十七圖 Be-Al 合金の組織 (倍率 100)

Archer-Fink は a 及び f 圖に於て大きい黒い結晶を初期 Be 晶と斷定して居ますが、私等は Be-Al 合金を作る際に Be が完全に熔融しない場合に殆ど同様な組織を得ま

した。即ち b 及び g であります。尙兩氏は純共品の組織として c 圖を掲げて居りますが、之れは御覽の通りに未だ多量の初期 Al 品を有して居ります。私等の得ました純共品は h 圖であります。更に兩氏は焼鈍水淬に依つて 0.75% Be を有する c 合金は d となり遂に e となりて段々に組織は細粒に化することを發表して居りますが、之れは思ひ違ひで焼鈍水淬に依つて固溶體の融離組織が漸次に均一組織になつたのだと存じます。私等の研究に於ては 0.8% Be を有する合金を焼鈍すること k 圖の如くなり、漸次均一固溶體組織に變化する事を證するのであります。ごちらが正しいかは第十六圖と第十七圖を精細に比較された上で、皆様御判断に御任せしたいのであ



第十八圖  
Be-Si 合金の狀態圖

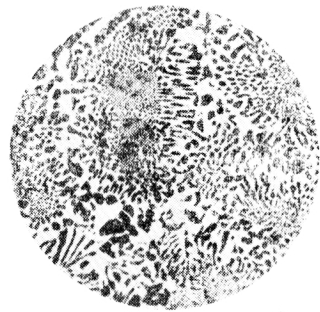
ります。

第十八圖はベリリウムと珪素との合金の狀態圖で簡單な共晶合金で御座いますが多分兩側に幾分の固溶體を保持して居るものと存じます。

第十九圖は 40% Be を有する共晶の顯微鏡組織で丁度シルミンと同じ様な組織でありますから、多分シルミン以上に有用な合金となる事と豫測致します。

以上御話申上げました事柄は最近に行はれた種々の學者の業績と私等のやつた研究結果とを

ごつと綜合したもので御座いますが、之等の研究から割出される或は豫知される現在及び將來の工業上の應用を申しますと、例へば電氣機關車用の電氣接觸刷毛の支へご接觸箔の如きは從來青銅で出來て居りますが、絶えず強い衝動を受けて居りますから毎日使つて居ると數週間にして使へ無くなつて、かなり危険で御座います。之をベリリウム青銅で代用すれば非常に都合の様で御座います。又航空機船の操縦臺を吊つてある螺旋の如きは着陸の都度烈しい衝動を感じる爲めに安全を期する材料に苦んで居



第十九圖  
Be-Si 共晶組織 (倍率 150)



る有様ですが、之れもベリリウム青銅か或はベリリウム、ニッケル合金で作つたらば都合が良い様であります。其他電気發動機、爆發式發動機の各部は始終烈しい振動を受けて居る箇所ですから、斯ふ云ふ處にも使用すれば甚だ妙ならんと思はれます。更に又丈夫であつて而も腐蝕にも耐へ侵蝕にも耐えますから、ポンプとかタービンの翼とか或はブリケット壓搾機、加壓濾過機等に用ふるに便利の様で御座います。尙ベリリウムは銅の脱酸劑としても用ひられ隣なきの場合に異り脱酸と同時に脱硫作用をも致します。尙又 X 線透過能がアルミニウムに比し約十七倍の強さでありますから近時盛に用ひられつつある金屬管球の X 線放射窓にアルミニウムの代りに使用すれば甚だ好都合の結果を得るに存じます。其他ベリリウム鍍金の御話もありますが時間の都合上止めて置きます。

要するにベリリウムは有望な將來を持つて居るに云ふ事は御判りになるか存じます。私は寧ろベリリウムは次の時代を劃する金屬ではないか云ふ事を考へたいのですが、只悲しいかな目下の地質學上の調べに依るに其の含有量は地殻の約 0.0005% に過ぎずアルミニウムの 7% に比するに大分産出量に開きがある事であります。然し乍ら豊富な原産地の發見と製造法の進歩が伴はば其の應用も亦從つて擴大せられ、他の有用合金の繩張りを漸次侵蝕して行くものも考へられます。價格にしても從來は高いに考へられて居つたベリリウムも段々安くなつて、例へば十年前は一疋十萬圓程したベリリウムが、一昨年は 6.000 圓に昨今では 500 圓位に下つて參りました。而も之れは純粹のベリリウムの御話ですが、アルミニウムを含むとか或は鐵を含む様な場合には非常に安くなるのでありますから、そして合金せしめる量も少量で足りる事が多いのですから、あながち其の將來を悲觀するにも當らぬに存じます。兎に角各國で其の研究を競ふて居るのも故なきにはあらずと思ひます。

以上の御話しの中にて私の研究に對して終始當化學研究所長の近重先生に激勵の御言葉を賜つた事を厚く御禮申上げますと同時に、高價なる研究材料を多量に御提供下さつた旭絹織株式會社上島專務取締役に深く感謝しつゝ、此の壇を降る次第で御座います。(拍手)