

# ラッピングの研磨量に及ぼすラップ液の影響

友田 進\*・河内 健\*\*

## The effect of lapping liquid on stock removal.

Susumu Tomoda\*, Takeru Kawauchi\*\*

### Abstract

This paper describes the effect of lapping liquid properties on lapping behavior of materials. Steel and brass were lapped by using the anion surfactant solution, the cation surfactant solution and the nonion surfactant solution for lapping liquid. The following results is experimentally confirmed: It was the anion surfactant solution that made the stock removal increase rapidly.

### 1. はじめに

船用機関の製作や修理に用いられている主な精密加工は、燃料噴射弁のニードル弁と弁座の間で行われるラッピング、シリンダライナー研削のためのホーニング<sup>1)</sup>、クランク軸ジャーナル部の超仕上げなどがある<sup>2)</sup>。これらの加工で、船内で行うことができる唯一の精密加工はラッピングである。ラッピングはラップと称される定盤に試料を押し付け、両者の間に砥粒とラップ液を入れて相対運動させることにより、試料表面を微小な切り屑として除去する加工である。滑らかで寸法精度の高い仕上げ面が得られる砥粒加工の一つである。砥粒加工にはラッピングの他に、バフ研磨、バレル研磨、ホーニング、超仕上げなどがあるが、ラッピングは他の砥粒加工に比べて簡単な装置で作業が行えるのも特徴である。そのため、

ブロックゲージやレンズなどの生産工程の仕上げ作業にも取り入れられている<sup>3)</sup>。しかし、ラッピングは加工能率が低いため、ラッピング工程に要する時間が他の工程に比べて長くなる。つまり、ラッピングの加工能率を向上させることができれば、全生産工程に要する時間を短縮できることになる。

一方、界面活性剤は洗浄、分散、減摩、帯電防止などの作用を有するために、家庭用洗剤や化粧品などの分野で広く活用されている。また、界面活性剤の洗浄や分散作用は界面活性剤の極性に大きく影響されることがわかっている<sup>4)</sup>。そこで、ラッピングのラップ液に界面活性剤水溶液を用いて加工能率を向上させるための実験を行った<sup>5)</sup>。界面活性剤の洗浄や分散作用により、ラッピング作用を阻害すると考えられる加工中に発生する切り屑や砥粒の破砕粉からなる微小粉をラ

\* 商船学科

\*\* 海上輸送システム工学専攻

ップ液中へ排出させることで、研磨量を増加させることが期待できるからである。

本研究では、界面活性剤の極性に着目して、陽イオン系、陰イオン系、非イオン系界面活性剤水溶液をラップ液に用いて、界面活性剤の極性と研磨量の関係について調べた。また、ラップ面の観察、使用後のラップ剤の観察、ラップ面の成分分析を行った。さらに、観察結果に基づいて界面活性剤水溶液が研磨量を増加させるメカニズムも追究した。

## 2. 実験方法

図 1 と図 2 に実験装置を示す。ラッピング装置は市販のしゅう動式ラッピング装置である。試料①は、試料ホルダー②に貼り付けられた状態でガイドリング③へ差し込み、重り④によって加圧される。ガイドリングはコロ式試料保持ユニット⑤によって保持され、ラップ⑥が回転するとコロを支点にして自転することで試料がラッピングされる。表 1 にラッピング条件を示す。ラップの材質は鋳鉄、試料は黄銅と鉄鋼(S55C)である。ラップ液は陰イオン系、非イオン系、陽イオン系界面活性剤水溶液のそれぞれ 5 種類である。ラップ剤は 1 回供給である。表 2 にラップ液を示す。これらのラッピング条件に基づき、試料を 20 分間ラッピングした後の研磨量を計測した。また、ラップ面の成分分析には X 線回折装置(理学製 Geigerflex)を用いた。

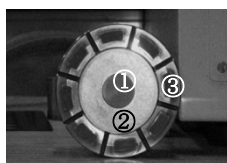


図 1 ラッピング装置 図 2 ラッピング治具  
① 試料 ②試料ホルダー ③ガイドリング  
④重り ⑤コロ式試料保持ユニット ⑥ラップ

表 1 ラッピング条件

ラップ材質	鋳鉄
試料(寸法)	黄銅(直径32mm)、鉄鋼(直径32mm)
ラップ液(濃度)	界面活性剤水溶液(1wt%)
砥粒(粒径)	アルミナ(15 $\mu$ m)
ラップ剤濃度	砥粒(2.5g)+界面活性剤水溶液(20cc)
ラップ時間	20min
ラップ圧力	18kPa
ラップ回転数	25rpm

表 2 ラップ液

陰イオン系界面活性剤			
ブチルナフタレンスルホン酸ナトリウム水溶液			
オレイン酸ナトリウム水溶液			
ラウリル硫酸ナトリウム水溶液			
ドデシルベンゼンスルホン酸ナトリウム水溶液			
リン酸モノドデシルナトリウム水溶液			
非イオン系界面活性剤			
モノステアリン酸ポリオキシエチレンソルビタン水溶液			
モノミリスチン水溶液			
ジエチレングリコールモノドデシルエーテル水溶液			
エチレングリコールモノドデシルエーテル水溶液			
モノパルミチン水溶液			
陽イオン系界面活性剤			
塩化ベンザルコニウム水溶液			
ベンジルジメチルフェニルアンモニウムクロリド水溶液			
ベンジルトリエチルアンモニウムクロリド水溶液			
ラウリルピリジニウムクロリド水溶液			
ジアリルジメチルアンモニウムクロリド水溶液			

## 3. 実験結果および考察

### 3. 1 研磨量の測定

表 3 に各種ラップ液に対する研磨量(ラッピング前後の重量差)を示す。陰イオン系界面活性剤水溶液を用いた黄銅の研磨量は、リン酸モノドデシルナトリウム水溶液が最も多く 108 mgであった。精製水 26mg の約 4.2 倍であった。鉄鋼ではブチルナフタレンスルホン酸ナトリウム水溶液が最も研磨量が多く 30 mgであった。精製水 10mg の 3 倍であった。非イオン系界面活性剤水溶液の研磨量は、黄銅ではモノミリスチン水溶液が最も多く 54 mgであった。鉄鋼の場合はジエチレングリコールモノドデシルエーテル水溶液が最も研磨量が多く 24 mgであった。陽イオン系界面活性剤水溶液では、ジアリルジメチルアンモニウムクロリド水溶液が最も研磨量が多く、黄銅 28 mg、

## ラッピングの研磨量に及ぼすラップ液の影響 (友田・河内)

表3 ラップ液に対する研磨量

ラップ液	研磨量 (mg)	
	黄銅	鉄鋼 (S55C)
精製水	26	10
陰イオン系		
ブチルナフタレンスルホン酸ナトリウム水溶液	105	30
オレイン酸ナトリウム水溶液	52	28
ラウリル硫酸ナトリウム水溶液	56	20
ドデシルベンゼンスルホン酸ナトリウム水溶液	102	20
リン酸モノドデシルナトリウム水溶液	108	26
非イオン系		
モノステアリン酸ポリオキシエチレンソルビタン水溶液	47	15
モノミリスチン水溶液	54	14
ジエチレングリコールモノドデシルエーテル水溶液	53	24
エチレングリコールモノドデシルエーテル水溶液	42	17
モノパルミチン水溶液	35	9
陽イオン系		
塩化ベンザルコニウム水溶液	22	8
ベンジルジメチルフェニルアンモニウムクロリド水溶液	25	9
ラウリルピリジニウムクロリド水溶液	25	9
ベンジルトリエチルアンモニウムクロリド水溶液	23	14
ジアリルジメチルアンモニウムクロリド水溶液	28	16

鉄鋼 16 mg であった。

図3に界面活性剤の極性に対する平均研磨量を示す。極性ごとの平均研磨量は、陰イオン系界面活性剤水溶液、非イオン系界面活性剤水溶液、陽イオン系界面活性剤水溶液の順に少なくなった。陰イオン系界面活性剤水溶液をラップ液に用いた黄銅の平均研磨量は、精製水を用いた時の約3.3倍、鉄鋼では約2.5倍の研磨量であった。これらのことから、黄銅と鉄鋼の研磨量は陰イオン系界面活性剤水溶液を使用すると多くなる傾向にあることがわかった。また、界面活性剤の極性が研磨量に及ぼす影響は鉄鋼よりも黄銅が大きいと言える。

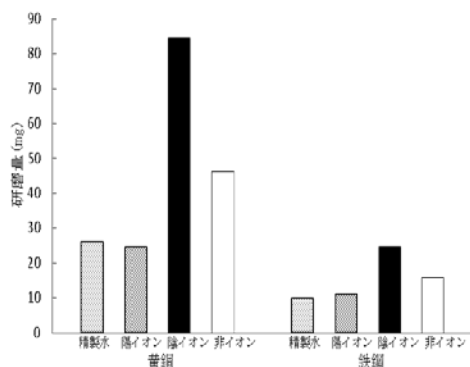


図3 界面活性剤の極性に対する平均研磨量

## 3.2 ラップ面の観察

研磨量が特に多かった陰イオン系界面活性剤のラップ液はブチルナフタレンスルホン酸ナトリウム水溶液とリン酸モノドデシルナトリウム水溶液、少なかったのは陽イオン系界面活性剤の塩化ベンザルコニウム水溶液とベンジルジメチルフェニルアンモニウムクロリド水溶液であった。これらのラップ液を用いて得られた黄銅と鉄鋼のラップ面を観察した。

## 3.2.1 黄銅のラップ面

図4にブチルナフタレンスルホン酸ナトリウム水溶液(A)、リン酸モノドデシルナトリウム水溶液(B)、塩化ベンザルコニウム水溶液(C)、ベンジルジメチルフェニルアンモニウムクロリド水溶液(D)および精製水をラップ液に用いてラッピングしたラップ面の外観を示す。図4より、研磨量が多かった陰イオン系界面活性剤水溶液をラップ液に用いた場合、ラップ面は母材である黄銅に近い色を示すことがわかる。研磨量が少なかった陽イオン系界面活性剤水溶液および精製水ではラップ面が黒く変色していた。

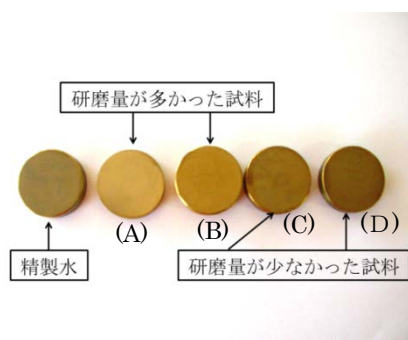


図4 ラッピング面の外観

図5はブチルナフタレンスルホン酸ナトリウム水溶液をラップ液に用いてラッピングしたラップ面の電子顕微鏡写真である。図6はリン酸モノドデシルナトリウム水溶液、図7は塩化ベンザルコニウム水溶液、図8はベンジルジメチルフェ

ニルアンモニウムクロリド水溶液、図 9 は精製水によるラップ面である。図 5 から図 9 より、ラップ面を詳細に観察すると、研磨量や界面活性剤の極性とは無関係に砥粒が削り取ったと思われる溝が無数にあることがわかった。

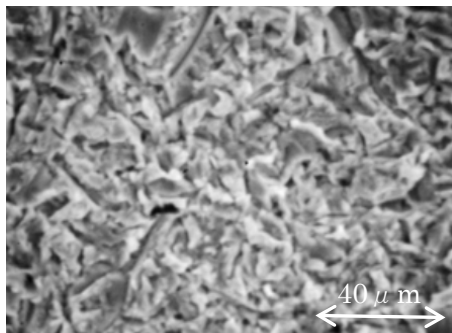


図 5 ラップ面(ブチルナフタレンスルホン酸ナトリウム)

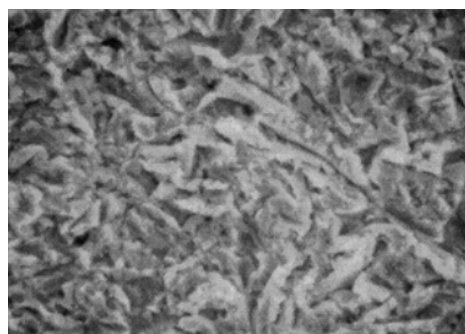


図 6 ラップ面(リン酸モノドデシルナトリウム)



図 7 ラップ面(塩化ベンザルコニウム)

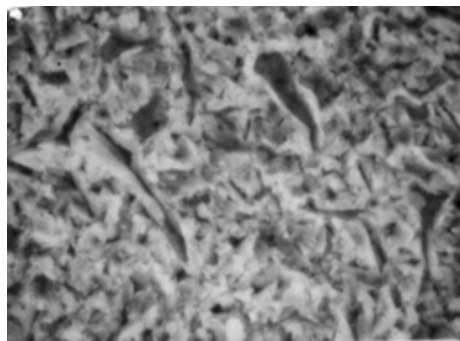


図 8 ラップ面(ベンジルジメチルフェニルアンモニウムクロリド)



図 9 ラップ面(精製水)

### 3. 2. 2 鉄鋼のラップ面

図 10 にリン酸モノドデシルナトリウム水溶液(A)、ブチルナフタレンスルホン酸ナトリウム水溶液(B)、塩化ベンザルコニウム水溶液(C)、ベンジルジメチルフェニルアンモニウムクロリド水溶液(D)および精製水をラップ液に用いてラッピングしたラップ面の外観を示す。図 10 より、研磨量が多かった陰イオン系界面活性剤水溶液をラップ液に用いた場合、ラップ面は鉄鋼に近い色を示すことがわかる。研磨量が少なかった陽イオン系界面活性剤水溶液および精製水では、ラップ面が黒く変色していた。

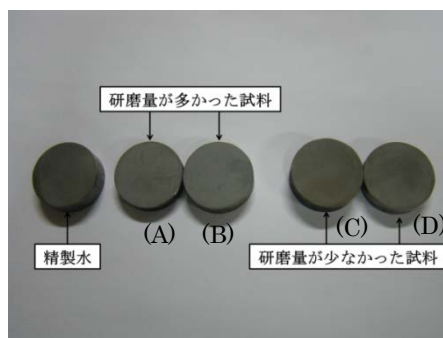


図 10 ラップ面の外観



## ラッピングの研磨量に及ぼすラップ液の影響 (友田・河内)

図 11 はリン酸モノドデシルナトリウム水溶液をラップ液に用いてラッピングしたラップ面の電子顕微鏡写真である。図 12 はブチルナフタレンスルホン酸ナトリウム水溶液、図 13 は塩化ベンザルコニウム水溶液、図 14 はベンジルジメチルフェニルアンモニウムクロリド水溶液、図 15 は精製水でのラップ面である。黄銅のラップ面と同様に、ラップ面は研磨量や界面活性剤の極性とは無関係に砥粒が削り取ったと思われる溝が無数にあることがわかった。

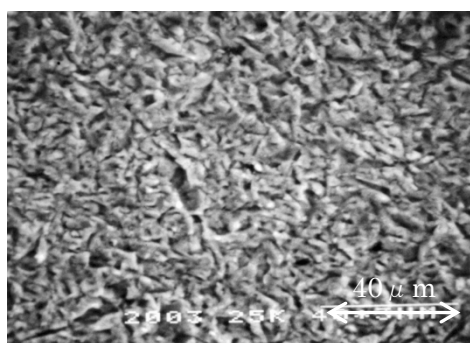


図 11 ラップ面(リン酸モノドデシルナトリウム)

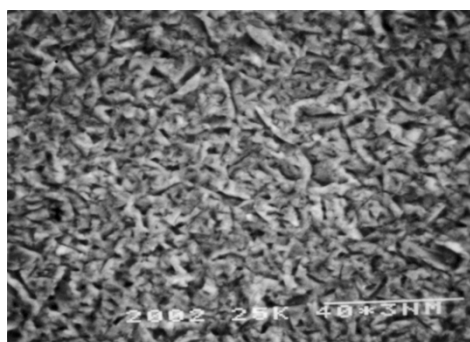


図 12 ラップ面(ブチルナフタレンスルホン酸ナトリウム)

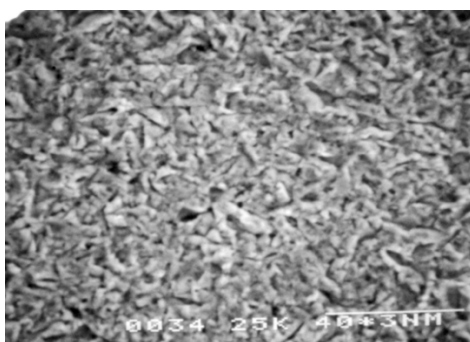


図 13 ラップ面(塩化ベンザルコニウム)

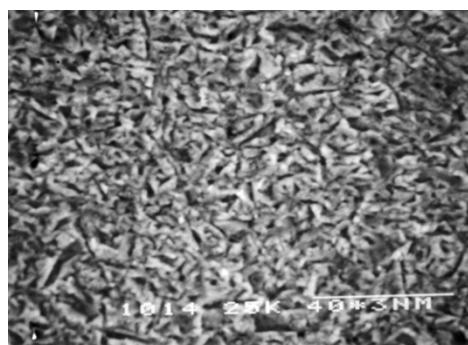


図 14 ラップ面(ベンジルジメチルフェニルアンモニウムクロリド)

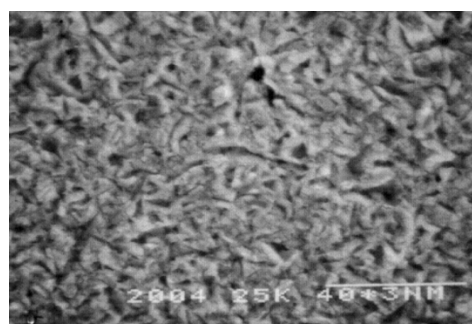


図 15 ラップ面(精製水)

### 3. 3 ラップ面の成分分析

ラップ液に用いた界面活性剤水溶液の種類でラップ面の外観が異なった。そこで、ラッピング後のラップ面を形成している成分を X 線回折装置を用いて調べた。X 線回折に用いた試料はラップ面の表層を削り取った紛体とした。回折条件は管電圧 35kV、管電流 15mA、X 線源 CuK $\alpha$  である。ラップ面を形成している成分として、黄銅と鉄鋼(試料)、铸铁(ラップ)、アルミナ(砥粒)が考えられる。黄銅、鉄鋼、铸铁、アルミナの回折角のピーク値を表 4 に示す。30 度から 80 度の測定範囲において、黄銅では 7 か所、鉄鋼と铸铁では 1 か所、アルミナでは 9 か所にピーク値が現れる。

表 4 黄銅、鉄鋼、铸铁、アルミナの回折角

成分	回折角のピーク値 (deg)								
黄銅	31.2	36.5	42.2	49.2	52.4	62.3	72.5		
鉄鋼・铸铁	44.8								
アルミナ	35.1	38.0	43.4	52.7	57.7	61.4	66.8	67.2	68.3

### 3. 3. 1 黄銅のラップ面

図 16 と図 17 は、研磨量が多かった陰イオン系界面活性剤水溶液(リン酸モノドデシルナトリウム水溶液)と研磨量が少なかった陽イオン系界面活性剤水溶液(塩化ベンザルコニウム水溶液)によるラップ面の X 線回折像である。

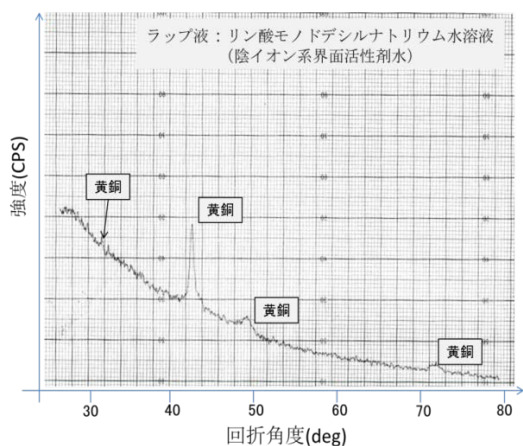


図 16 研磨量が多かったラップ面の X 線回折像

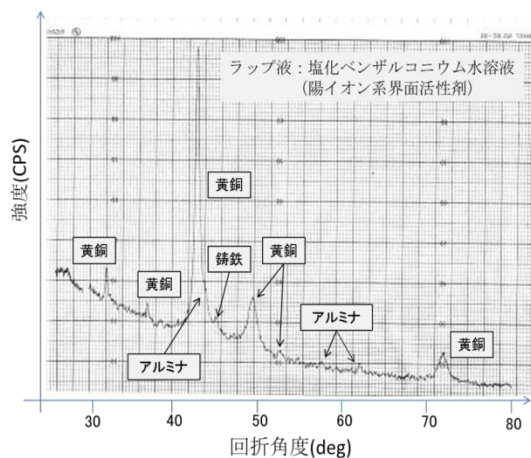


図 17 研磨量が少なかったラップ面の X 線回折像

図 16 より、研磨量が多かったラップ面の回折角のピーク値は、31.2 度、42.2 度、49.2 度、72.5 度に現れることがわかる。これらのピーク値は、表 4 より黄銅のピーク値であることがわかった。図 17 より、研磨量が少なかったラップ面では 10 か所に回折角のピーク値が現れることがわかる。表 4 より、31.2 度、36.5 度、42.2 度、49.2 度、52.4 度、72.5 度は黄銅のピーク値、44.8 度は鉄

鉄のピーク値、43.4 度、57.7 度、61.4 度はアルミナのピーク値であることがわかった。これらのことから、研磨量が多かったリン酸モノドデシルナトリウム水溶液、つまり、陰イオン系界面活性剤水溶液をラップ液に用いてラッピングした場合、ラップからの切り屑や砥粒がラップ面に付着しにくいことがわかった。

### 3. 3. 2 鉄鋼のラップ面

図 18 と図 19 は、研磨量が多かった陰イオン系界面活性剤(リン酸モノドデシルナトリウム水溶液)と研磨量が少なかった陽イオン系界面活性剤水溶液(塩化ベンザルコニウム水溶液)によるラップ面の X 線回折像である。

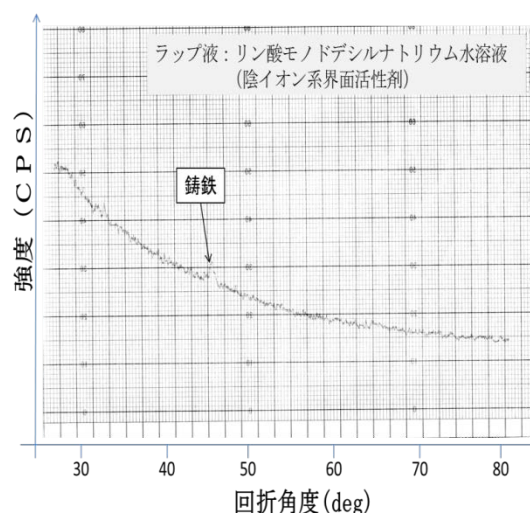


図 18 研磨量が多かったラップ面の X 線回折像

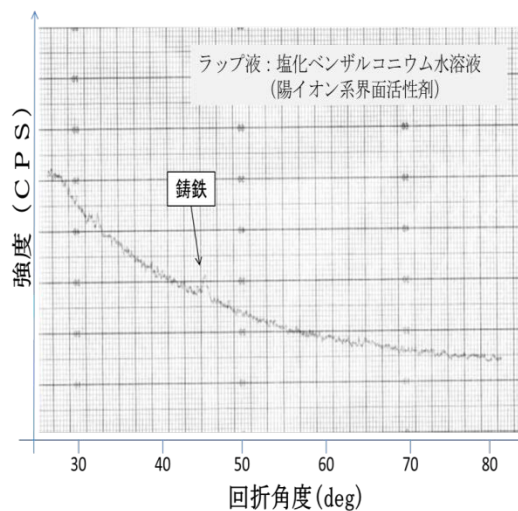


図 19 研磨量が少なかったラップ面の X 線回折像

## ラッピングの研磨量に及ぼすラップ液の影響 (友田・河内)

図 18 と図 19 より、研磨量が多かったラップ面と少なかったラップ面の回折角のピーク値は 44.8 度に現れることがわかる。表 4 より、このピーク値は鉄鋼(試料)と铸铁(ラップ)の回折角のピーク値であり、試料が鉄鋼では、鉄鋼と铸铁のピーク値しか現れないことがわかった。アルミナ(砥粒)のピーク値が現れない原因は、黄銅と比較して鉄鋼が硬いため、砥粒がラップ面に突き刺さらなかったことが考えられる。

### 3. 4 ラップ剤の観察

ラップ面にはラッピング中に発生した切り屑や砥粒の破碎粉からなる微小粉が付着していることがわかった。そこで、電子顕微鏡を用いて使用後のラップ剤と微小粉の状態を観察した。

#### 3. 4. 1 試料が黄銅の場合

図 20 と図 21 は、研磨量が多かった陰イオン系界面活性剤のブチルナフタレンスルホン酸ナトリウム水溶液とリン酸モノドデシルナトリウム水溶液をラップ液に用いて、黄銅をラッピングした後のラップ剤である。また、図 22 と図 23 は、研磨量が少なかった陽イオン系界面活性剤の塩化ベンザルコニウム水溶液とベンジルジメチルフェニルアンモニウムクロリド水溶液により黄銅をラッピングした後のラップ剤である。図 24 は精製水により黄銅をラッピングした後のラップ剤である。

図 20 と図 21 より、研磨量が多かった陰イオン系界面活性剤のブチルナフタレンスルホン酸ナトリウム水溶液とリン酸モノドデシルナトリウム水溶液では、ラッピング中に発生した切り屑や砥粒の破碎粉からなる微小粉が、砥粒にほとんど付着していないのがわかる。図 22 と図 23 より、陽イオン系界面活性剤の塩化ベンザルコニウム水溶液とベンジルジメチルフェニルアンモニウムクロリド水溶液では、ラッピング中に発生した切り屑や砥粒の破碎粉からなる微小粉が多く

砥粒に付着し、砥粒と微小粉が集合する傾向にあることがわかる。図 24 より、ラップ液が精製水では研磨量が少ない陽イオン系界面活性剤と同じような状態であることがわかる。

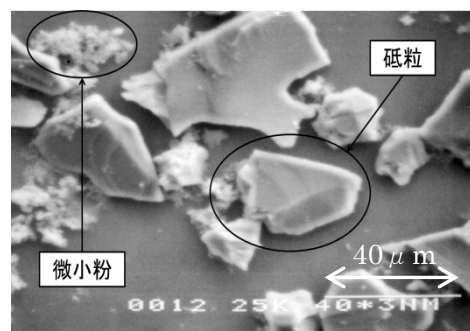


図 20 ラップ剤(ブチルナフタレンスルホン酸ナトリウム)

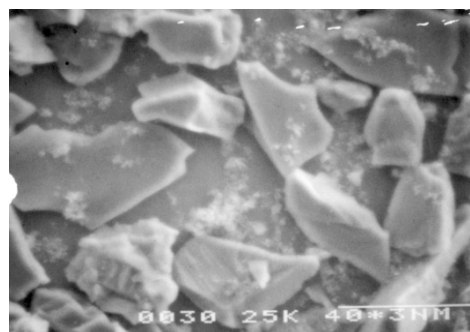


図 21 ラップ剤(リン酸モノドデシルナトリウム)

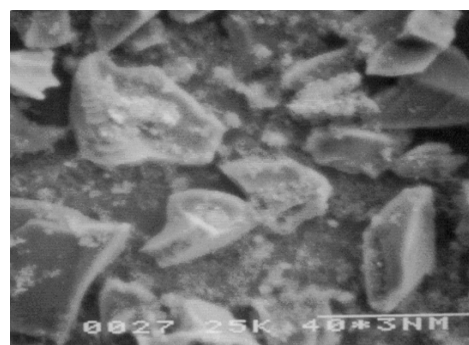


図 22 ラップ剤(塩化ベンザルコニウム)

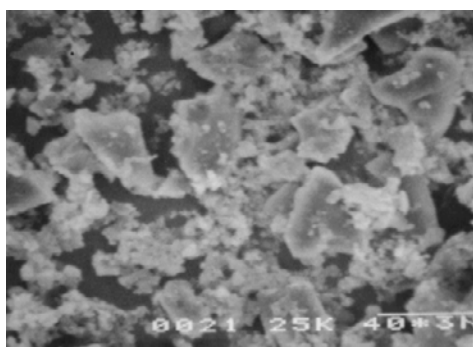


図 23 ラップ剤(ベンジルジメチルフェニルアンモニウムクロリド)

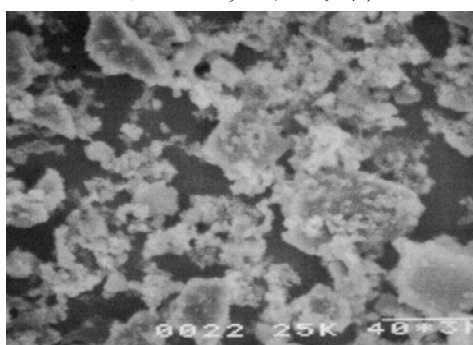


図 24 ラップ剤(精製水)

### 3. 4. 2 試料が鉄鋼の場合

図 25 と図 26 は研磨量が多かった陰イオン系界面活性剤のブチルナフタレンスルホン酸ナトリウム水溶液とリン酸モノドデシルナトリウム水溶液をラップ液に用いて、鉄鋼をラッピングした後のラップ剤である。図 27 と図 28 は研磨量が少なかった陽イオン系界面活性剤の塩化ベンザルコニウム水溶液とベンジルジメチルフェニルアンモニウムクロリド水溶液によるラップ剤である。図 29 は精製水によりラッピングした後のラップ剤である。

図 25 と図 26 より、研磨量が多かった陰イオン系界面活性剤のブチルナフタレンスルホン酸ナトリウム水溶液とリン酸モノドデシルナトリウム水溶液では、ラッピング中に発生した切り屑や砥粒の破碎粉からなる微小粉が砥粒にほとんど付着していないのがわかる。図 27 と図 28 より、陽イオン系界面活性剤の塩化ベンザルコニウム水溶液とベンジルジメチルフェニルアンモニウムクロリド水溶液は、ラッピング中に発生した

切り屑や砥粒の破碎粉からなる微小粉が多く砥粒に付着し、砥粒と微小粉が集合する傾向にあることがわかる。図 29 に示した精製水では研磨量が少ない陽イオン系界面活性剤と同じような状態であることがわかる。

黄銅と鉄鋼をラッピングした後のラップ剤の観察から、研磨量が多かった陰イオン系界面活性剤水溶液は、ラッピング中に発生した切り屑や砥粒の破碎粉からなる微小粉を砥粒にほとんど付着させないことがわかった。また、研磨量が少なかった陽イオン系界面活性剤水溶液および精製水を用いた場合は、砥粒に微小粉が多く付着し砥粒と微小粉が集合する傾向にあるのがわかった。

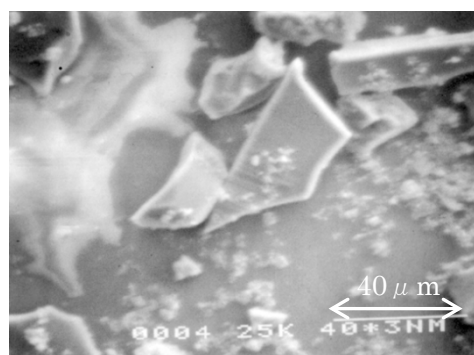


図 25 ラップ剤(ブチルナフタレンスルホン酸ナトリウム)

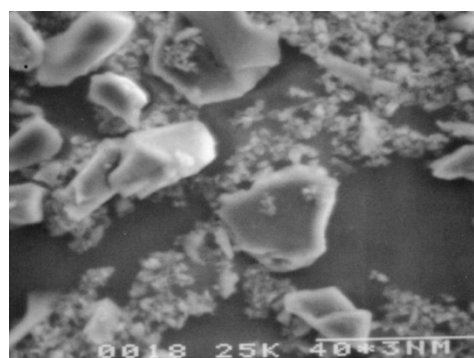


図 26 ラップ剤(リン酸モノドデシルナトリウム)



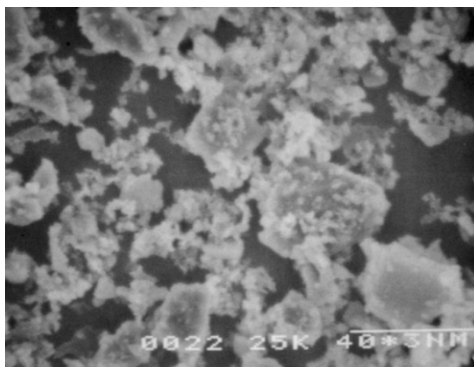


図 27 ラップ剤(塩化ベンザルコニウム)

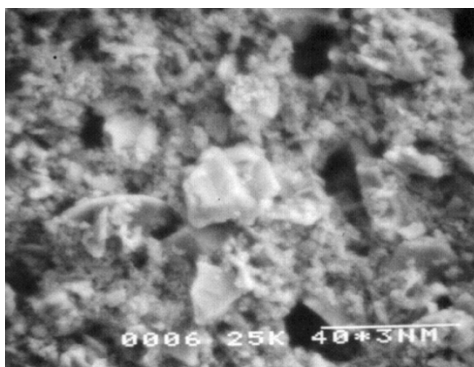


図 28 ラップ剤(ベンジルジメチルフェニルアンモニウムクロリド)

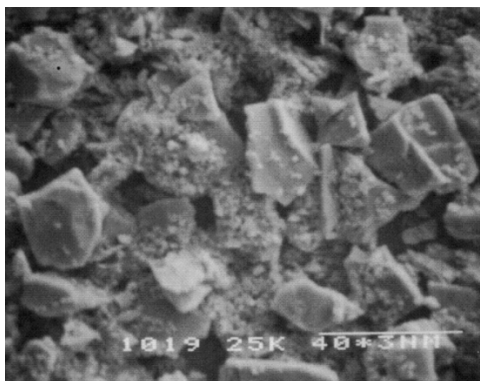


図 29 ラップ剤(精製水)

### 3. 5 研磨量が増加するメカニズム

3.2 と 3.3 より、ラップ液に用いた界面活性剤の極性は、ラップ面に色の違いをもたらし、ラップ面に付着する微小粉の多少の要因になることがわかった。3.4 より、研磨量が少ない陽イオン系界面活性剤では微小粉が砥粒に多く付着し、研磨量が多い陰イオン系界面活性剤では微小粉が砥粒にほとんど付着しないことがわかった。これらの結果に基づいて、研磨量が増加するメカニズムを以下のように推測した。

ラッピング中に発生した試料、ラップ、砥粒からの微小粉は一般に正に帯電していると言われている<sup>6)</sup>。図 30(a)に示すように、界面活性剤と微小粉の電気化学的な作用により陰イオン系界面活性剤の分子が微小粉に吸着する。陰イオン系界面活性剤が吸着した微小粉は親水性になることでラップ液中に分散され、ラップ面や砥粒に付着しにくくなる。このようなことから、試料と砥粒が常に直接接触するために研磨量が増加すると考えた。しかし、図 30(b)に示すように、陽イオン系界面活性剤では微小粉が砥粒やラップ面に付着し、砥粒が試料と直接接触しにくくなるために研磨量が少なくなると考えた。

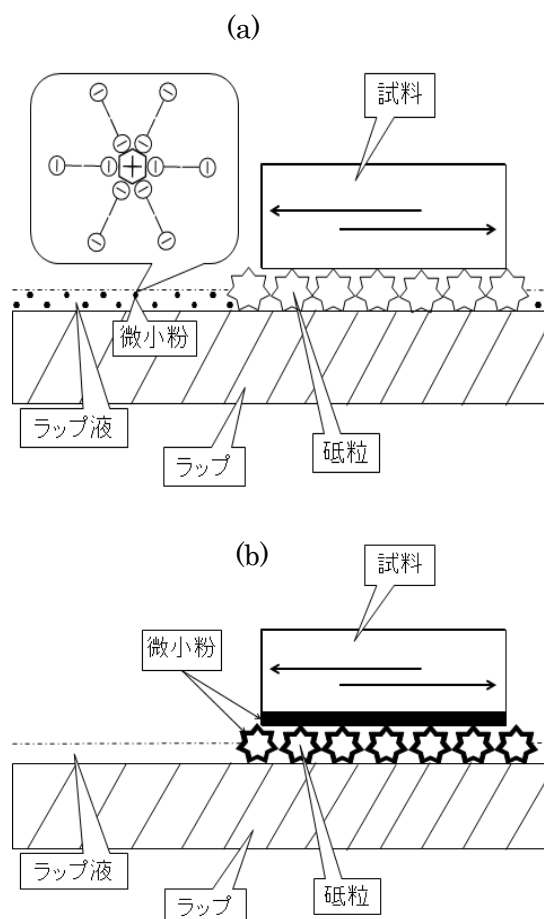


図 30 研磨量増加のメカニズム

## 4. まとめ

本研究では、陰イオン系、非イオン系、陽イオ

ン系界面活性剤水溶液をラップ液に用いて界面活性剤の極性と研磨量の関係について調べた。また、ラップ面の観察、使用後のラップ剤の観察、X線回折によるラップ面の成分分析を行った。実験の結果、以下のことが明らかになった。

- 1) 黄銅と鉄鋼の研磨量は、陰イオン系界面活性剤水溶液をラップ液に用いると大きく増加した。また、界面活性剤の極性が研磨量に及ぼす影響は鉄鋼よりも黄銅の方が大きいことがわかった。
- 2) 研磨量が多かった陰イオン系界面活性剤水溶液をラップ液に用いたラップ面からは、ラップと砥粒の成分は検出されなかった。また、研磨量が少なかった陽イオン系界面活性剤水溶液をラップ液に用いたラップ面は黒く変色し、黄銅ではラップと砥粒の成分が検出された。
- 3) 研磨量が多かった陰イオン系界面活性剤水溶液をラップ液に用いると、ラッピング中に発生した切り屑や砥粒の破碎粉からなる微小粉が砥粒にあまり付着していなかった。研磨量が少なかった陽イオン系界面活性剤水溶液をラップ液に用いてラッピングすると、微小粉が砥粒に多く付着した。
- 4) 陰イオン系界面活性剤はラッピング中に発生した試料やラップの切り屑や砥粒の破碎粉からなる微小粉がラップ面や砥粒に付着することを防止し、試料と砥粒を常に直接接触させるために研磨量が多くなると推測した。

- 3) 中島利勝, 鳴瀧則彦: 機械加工学, コロナ社, 210 (2003)
- 4) 北原文雄: 界面活性剤の話, 東京化学同人, 38 (1997)
- 5) 友田進, 菅原章: 界面活性剤の性質がラッピングに及ぼす影響, 精密工学会誌 1122 (1996)
- 6) 友田進: ラッピング加工特性に及ぼすラップ液の影響, 広島大学学位論文, 38 (1992)

### 参考文献

- 1) 田中義信, 津和秀夫: 精密工作法(下), 共立出版, 386 (1975)
- 2) 田中義信, 津和秀夫: 精密工作法(下), 共立出版, 420 (1975)