

# 銀・黄銅バイメタルラップの研磨特性について

友田 進\*・中橋 勇貴\*\*

## Study on lapping behavior of silver and brass using CuZn-Ag bimetal lap

Susumu Tomoda\*, Yuuki Nakahashi\*\*

### Abstract

The authors have researched a unique phenomenon on lapping test for a glass work-piece on silver lapping plate using sodium chloride solution. It is a unique phenomenon that the silver lapping plate was not worn during the lapping process even under the condition of large stock removal of the glass. However, it is assumed that silver lapping plate occurs deformation in lapping process. Therefore, in this study, CuZn-Ag bimetal lap was proposed for lapping plate materials. The following results is experimentally confirmed: CuZn-Ag bimetal lap was not worn during the lapping process even under the condition of large stock removal of the glass.

### 1. はじめに

船舶の大型化などに伴い主機関の高出力・効率化が進み、機械部品の高精度な加工が必要になってきている。そのために、主機関の製造には多くの精密加工が用いられている。例として、ホーニング加工、超仕上げ、ラッピングなどがある。ピストンリングとシリンダライナーとの接触面の気密を保つためにホーニング加工、またクランク軸ジャーナル部の加工では超仕上げを行うことにより仕上げ面の粗さが向上し、耐摩耗性や軸受負荷能力が増すといわれている<sup>1) 2)</sup>。さらに、機関運転中に発生した吸・排気弁や弁座などの損傷を補修するためにすり合わせ、いわゆるラッピングが行われている。この中で、機械類の取扱い現場ですぐに、対応できる精密加工がラッピングであり、航海中の船内で行われる最も簡単な精密加工ともいえる。

ラッピングとは、定盤であるラップに工作物を押し付け、両者の間に微小粒子（砥粒）と液体（ラップ液）を混合したラップ剤で相対運動させることにより、工作物表面を微量除去することで、形状精度の高い滑らかな面を得る加工である。簡単な装置で高精度の加工面が得られる方法ではあるが、工作物だけではなくラップ表面も同時に除去されるので、回転するラップの内側と外側における工作物との相対速度の違いやラップ剤の分布状況などによっ

て偏摩耗が生じる。ラップの平坦度は損なわれ、そのまま使用すると工作物の形状精度が低下してしまう<sup>3)</sup>。つまり、修正作業を行う必要がある。つまり、修正作業を必要としないラップ（無摩耗ラップ）を見出すことは工業的に意義があることといえる。

本研究室では、ラップに銀、ラップ剤に塩化ナトリウム水溶液とアルミナ砥粒の懸濁液を用いてガラスをラッピングすると、ラップである銀は摩耗せずにガラスだけがラッピングされる特異な現象（以下、本現象と称する）を見出し、追究している<sup>4) 5) 6)</sup>。無摩耗ラップによるガラスのラッピングが可能であり、本現象はいろいろな種類の工作物への応用も期待できる。しかし、既に見出している軟質な銀ラップはラッピング中に塑性変形を生じることが考えられる。そこで、軟質な銀と硬い黄銅を組み合わせた銀・黄銅バイメタルラップを考案した。本研究では、試作したバイメタルラップで本現象が発現することの推定、バイメタルラップのラッピング能力の測定、バイメタルラップによる本現象の発現メカニズムについて追究する。

### 2. 特異なラッピング現象

特異なラッピング現象とは、ラップにガラス、ラップ液に塩化ナトリウム水溶液を用いて銀のラッピ

\* 商船学科

\*\* 海上輸送システム工学専攻科生

ングを行うと、ガラスはラッピングされるが、銀はラッピングされない現象である。表1に、本研究室で既に得られている実験結果を示す。比較のためにラップ液に精製水を用いてラッピングを行った実験結果もあわせて示した。表1より、ラップ液に塩化ナトリウム水溶液を用いると、銀のラッピング量は検出されないが、ラップ液に精製水を用いると、銀がラッピングされることがわかる。このように、ラップ液に塩化ナトリウム水溶液を用いると、銀がラッピングされない現象が既に見出されている。ラップと試料の材質を入れ替えれば、ガラスのラッピングにおける無摩擦ラップが可能になる。

表1 ラップ液と銀のラッピング量の関係

ラップ液	銀のラッピング量 mg	本現象発現の有無
精製水	23	発現しない
塩化ナトリウム水溶液	0	発現する

試料：銀，ラップ：ガラス，砥粒：アルミナ

### 3. 実験方法

#### 3. 1 試料

実験に使用した試料を表2に示す。試料の材質はガラス，黄銅，および銀・黄銅バイメタルである。ガラス試料の形状は直径27mm，厚さ5mm，および直径60mm，厚さ4mmの2種類の円板とした。バイメタル試料の概観を図1に示す。バイメタル試料は直径20mm，厚さ5mmの黄銅に，直径6mmの底付きの穴を設け，アセチレンガスバーナを用いて銀を溶かし込むことで作成した。黄銅に対する銀の表面積割合は10%，20%，30%，および40%の4種類とした。

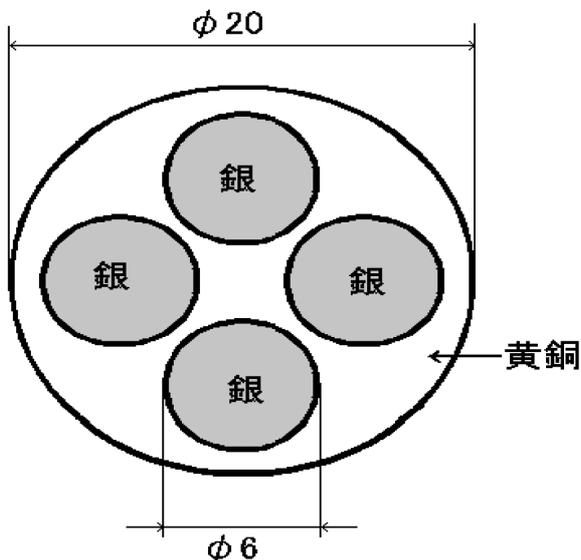


図1 バイメタル試料 (40%Ag) の概観

表2 試料

試料	ガラス (27mmφ×5mm, 60mmφ×4mm)
	黄銅 (20mmφ×5mm)
	銀・黄銅バイメタル (20mmφ×5mm)
	10%Ag, 20%Ag, 30%Ag, 40%Ag

#### 3. 2 ラッピング装置

実験装置を図2と図3に示す。ラッピング装置は市販のしゅう動式ラッピング装置 (ムサシノ電子製 MA-200) である。試料①を試料ホルダー②の中央部分に両面テープで貼り付け，ガイドリング③に試料ホルダーを差し込み，錘④により加圧する。試料ホルダーはコロ式試料保持ユニット⑤によって支持され，ラップが回転すると2個のコロを支点にして試料ホルダーとガイドリングが自転する。

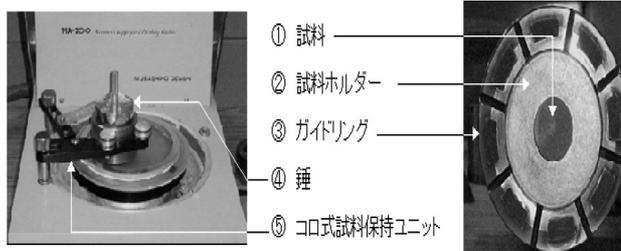


図2 ラッピング装置

図3 ラッピング用治具

#### 3. 3 ラッピング条件

表3にラッピング条件を示す。ラップの材質はガラス，銀，黄銅，および銀・黄銅バイメタルを使用した。ラップ液は塩化ナトリウム水溶液を用いた。砥粒は平均粒径9.5μmのアルミナを使用した。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ときのラッピング量を計測した。ラップ剤は，ラッピング開始時に全量 (砥粒3g+ラップ液10ml) を一度に供給した。

表3 ラッピング条件

試料	ガラス，黄銅，銀・黄銅バイメタル
ラップ材質	ガラス，銀，黄銅，銀・黄銅バイメタル
ラップ液 (濃度)	塩化ナトリウム水溶液 (2wt%)
砥粒 (粒径)	アルミナ (9.5μm)
ラップ時間 min	20
ラップ剤濃度	砥粒 (3g) + ラップ液 (10ml)
ラップ圧力 kPa	5, 20
ラップ回転数 rpm	30

## 4. 実験結果と考察

### 4. 1 バイメタル試料のラッピング

銀・黄銅バイメタルを無摩耗ラップとして用いるためには、銀・黄銅バイメタルが銀と同様に本現象を発現する必要がある。そのために、ガラスラップを用いて銀・黄銅バイメタル試料をラッピングし、ラッピング量の計測とラッピング後の試料表面を観察した。

#### 4. 1. 1 バイメタル試料のラッピング量

ガラスラップを用いて銀・黄銅バイメタル試料をラッピングし、ラッピング回数に対するラッピング量を計測した。また、バイメタル試料中の黄銅に対する銀の割合とラッピング量との関係もあわせて調べた。実験に用いた試料は、黄銅試料と銀の割合が異なるバイメタル試料の5種類である。実験結果を図4に示す。横軸はラッピング回数（1回のラップ時間は20分間）、縦軸はラッピング量を示す。図4より、黄銅試料はラッピング回数と無関係に、ラッピング量がほぼ一定（約27mg）であることがわかった。しかし、銀の割合が10%以上の試料は、ラッピング回数の増加に対してラッピング量が減少している。詳細に分析すると、10%Ag試料は漸減し、20%Ag試料は4回目、30%Ag試料は3回目、40%Ag試料は2回目でラッピング量が急激に減少して一定値に近づくことがわかった。破線は急激にラッピング量が減少した点を結んだ曲線で、いわゆる、

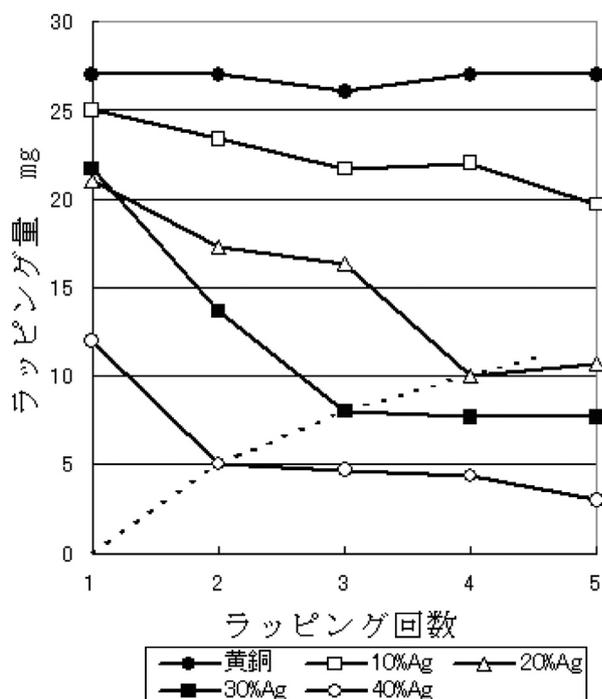


図4 バイメタル試料のラッピング量

最少ラッピング量を示す曲線である。最少ラッピング量を示す曲線から、銀・黄銅バイメタル試料のラッピング量は銀の割合が増加することによって短時間で最少値に達することがわかる。つまり、銀・黄銅バイメタルは繰り返しラッピングすると、本現象を発現する銀に近い特性を示す材料になることがわかった。

#### 4. 1. 2 X線によるバイメタル試料表面の元素分析

図4で示したように、バイメタル試料中の銀の割合が増加するにしたがいラッピング量が減少し、短時間で最少値に達することが明らかになった。ラッピング量の減少はラッピング中に何らかの原因で生じた銀粉がバイメタル試料の黄銅面へ付着することで、ラッピングを阻害したのではないかと考えた。

そこで、バイメタル試料表面の成分とラッピング量の減少との関係を調べるために、蛍光X線による試料表面の元素分析を行った。実験に用いた蛍光X線分析装置（理学電機株式会社製）を図5に示す。分析条件を表4に示す。管電圧は30kV、管電流は10mAとした。バイメタル試料は黄銅に対する銀の割合が30%の試料を用いた。また、試料表面の分析部分を図6に示す。バイメタル試料表面の黄銅部分を分析するために、直径35mmのベリリウム銅の1箇所だけに直径6mmの穴を開けた円板でバイメタル試料を覆った。分析した元素は、試料の主成分である銀 (Ag)、ガラスの主成分であるケイ素 (Si)、および砥粒の主成分であるアルミニウム (Al) である。実験結果を図7に示す。横軸はラッピング回数（1回のラップ時間は20分間）であり、0回はラッピングする試料の初期状態である。縦軸は試料表面の分析値を示す。図7より、試料表面（黄銅部分）のAgは初期状態（黄銅のバックグラウンド）に対しては



図5 蛍光X線分析装置

とんど変化しておらず、ラッピング中に銀粉が黄銅部分に付着することが認められなかった。試料表面のAlはラッピング回数が増えるにしたがって分析値が大きくなることがわかった。ラッピング中に粉碎した砥粒が試料に付着したためと考えた。試料表面のSiは、ラッピング回数1回目で急増して一定値を保つことがわかった。ラッピング中に生じたガラス粉が試料に付着したためであると考えた。ただし、分析値はAlほど大きな変化が認められなかった。

これらのことから、試料表面には砥粒やガラス粉が付着していることが認められるが、銀は黄銅面に付着していないことが明らかになった。そこでバイメタル試料表面の銀部分、黄銅部分および銀と黄銅の境界部分を電子顕微鏡で観察した。

表4 分析条件

管電圧 kV	30
管電流 mA	10
分析元素	Ag, Al, Si

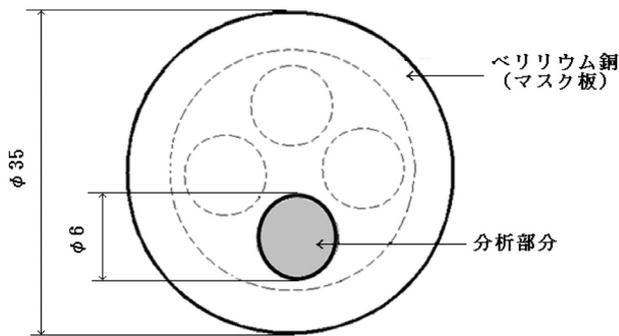


図6 試料表面の分析部分

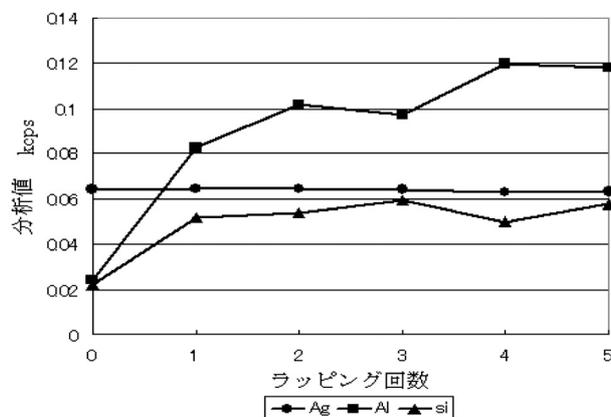


図7 黄銅表面のAg, Al, Si分析結果

#### 4. 1. 3 電子顕微鏡によるバイメタル試料の観察

蛍光X線による試料表面の元素分析では、バイメタル試料のラッピング量が減少する原因を明らかにすることができなかった。そこで、バイメタル試料表面の銀部分、黄銅部分、および境界部分を電子顕微鏡 (SEM) で観察した。観察した試料は銀の割合が30%のバイメタル試料である。実験結果を図8と図9に示す。図8は試料中の銀部分のSEM像、図9は黄銅部分のSEM像である。図8と図9のSEM像から、白く光っている砥粒と考えられる微小粉が付着していることを確認できたが、銀と黄銅表面はいずれも同じような荒れた面が観察され、両者の間には大きな違いが認められなかった。図10は銀と黄銅の境界部分のSEM像である。境界部分にはラッピング中に生じた微小粉の堆積や本現象に影響を及ぼすような表面状況は認められなかった。これらの結果から、ラッピング量の減少は、試料表面の黄銅部分へ銀が付着するためではなく、別の要因で発現すると判断した。

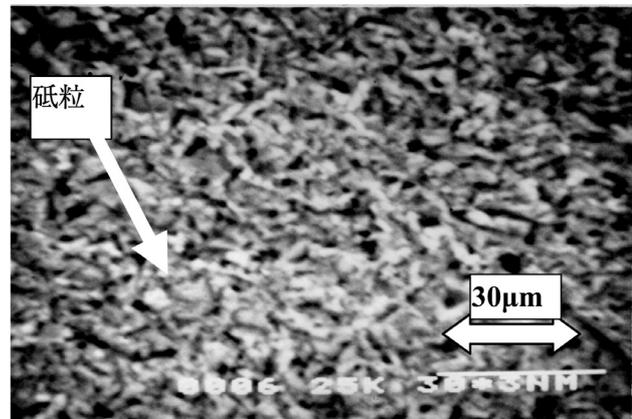


図8 銀部分

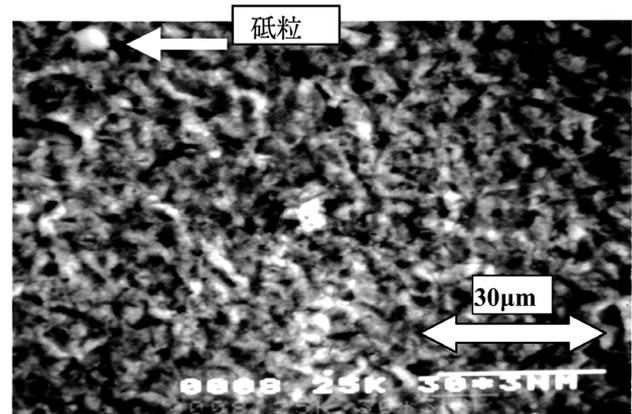


図9 黄銅部分

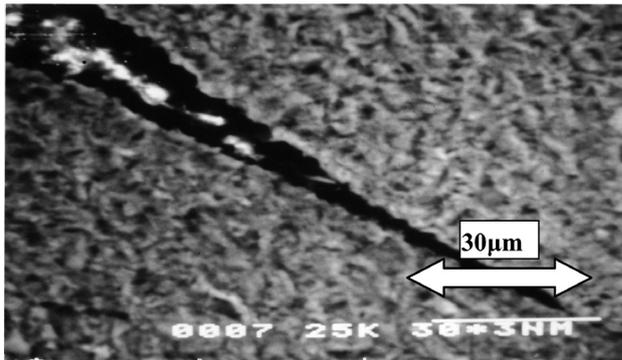


図10 銀と黄銅の境界部分

#### 4. 2 バイメタルラップによるガラスのラッピング

本研究の目的は硬質で偏摩耗しないラップの実現である。4.1.1より、銀・黄銅バイメタルは本現象を発現する銀に近い特性を示す材料であることがわかった。そこで、銀・黄銅バイメタルラップを試作してガラスをラッピングした。

##### 4. 2. 1 バイメタルラップ

バイメタルラップの概観を図11に示す。ラップに用いる基板材料は銀（HV26）より硬質な黄銅（HV65）である<sup>7) 8)</sup>。バイメタルラップは直径200mmの黄銅板に9ヶ所の穴（直径30mm）を開け、円板に切り出した銀をはめ込むことで作成した。また、ラッピング中にラップ剤が飛び出すのを防ぐために外径170mm、内径150mm、高さ7mmのアルミニウムの外枠を設けた。アルミニウム枠内の黄銅表面積に対する銀表面積の割合は約40%にし、バランス良く試料と接触するように銀板を対称に配置した。

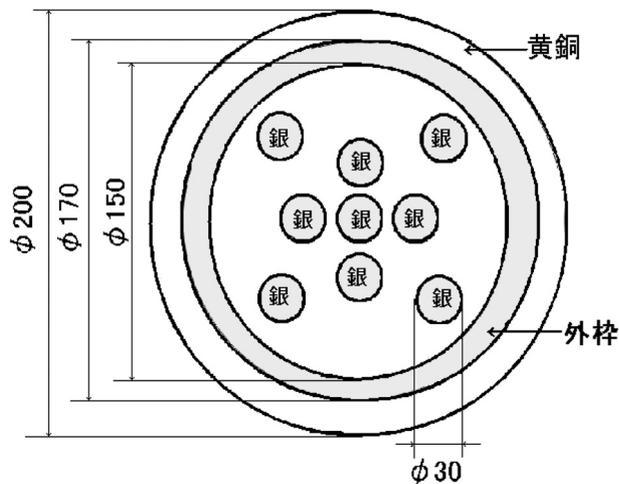


図11 バイメタルラップの概観

##### 4. 2. 2 各種ラップによるガラスのラッピング量の比較

銀・黄銅バイメタルラップと材質が異なるラップを用いてガラスをラッピングした。実験に使用したラップの材質は黄銅、銀、および銀・黄銅バイメタルの3種類である。ラップ液は塩化ナトリウム水溶液、砥粒はアルミナ、ラップ圧力は20kPa、ラップ時間は20分間である。ガラス試料の形状は直径27mm、厚さ5mmの円板である。実験結果を図12に示す。横軸はラップ材質であり、縦軸はガラスの平均ラッピング量（3回の平均値）を示す。図12より、黄銅ラップでガラスを20分間ラッピングした時の平均ラッピング量は79mg、銀・黄銅バイメタルラップでは70mg、銀ラップでは41mgあった。ラッピング能力に優れるラップ材質は、黄銅、銀・黄銅バイメタル、銀の順であることがわかった。このことから、試作したバイメタルラップは、黄銅ラップに近いラッピング量が得られるラップであることが明らかになった。

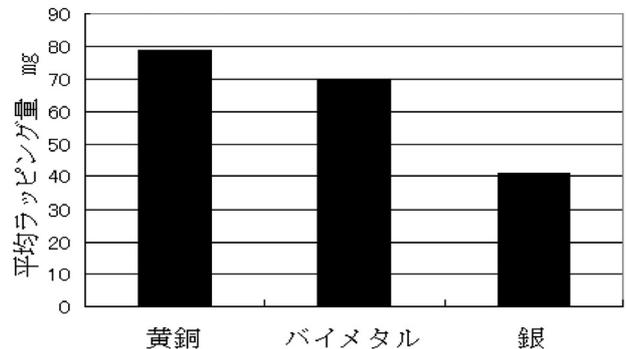


図12 ラップ材質とガラスのラッピング量との関係

##### 4. 2. 3 バイメタルラップによる本現象の発現メカニズム

4.1.2と4.1.3の実験結果から、バイメタル試料の黄銅部分には、ラッピング中に銀が付着されることがわかった。そこで、バイメタル試料を長時間ラッピングすると摩耗しにくくなるメカニズムは、図13のモデルで示すような凸凹がラッピング中に生じて、ラップとの接触面が銀部分だけになることで本現象を発現すると推測した。

ここでは、バイメタルラップ表面がバイメタル試料表面と同様な形状変化を生じると考え、バイメタルラップ表面の形状変化とガラスのラッピング量を調べた。バイメタルラップ表面の形状は表面粗さ計により測定した。実験に使用したガラス試料の形状は直径60mm、厚さ4mmの円板である。ラップ液は塩化ナトリウム水溶液、砥粒はアルミナ、ラップ圧力は5kPa、1回のラップ時間は20分間である。また、バイ

メタルラップ表面の形状測定は、20分間のラッピングを15回繰り返した後の表面である。ラップ表面の測定部分を図14に示す。測定部分は図中の $X_1-X_2$ 、 $Y_1-Y_2$ 、および $Z_1-Z_2$ の3箇所である。

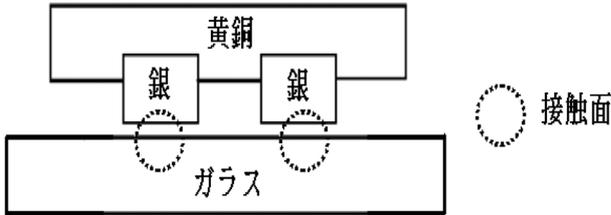


図13 繰り返し使用したバイメタル試料の摩耗モデル

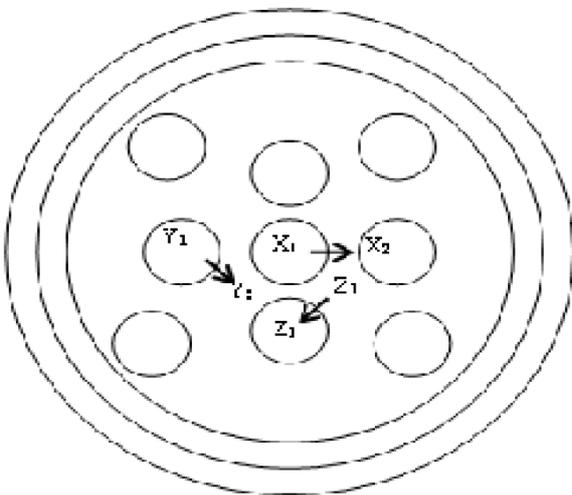


図14 ラップ表面の測定部分

図15はラッピング回数に対するバイメタルラップによるガラスのラッピング量である。図15より、ガラスのラッピング量は、ラッピング回数に対して減少し、その後再び増加して一定値に近づく傾向にあることがわかった。図16はラッピングを15回繰り返した後のバイメタルラップ表面の形状を示す。図16より、測定部 $X_1-X_2$  (図a) における銀部分は、最大高さ $R_y = 約2\mu\text{m}$ の凸面であることがわかる。黄銅部分は銀部分との境界部分から徐々に低くなっている、銀部分と一番低い黄銅部分の高低差は約 $8\mu\text{m}$ であることがわかった。測定部 $Y_1-Y_2$  (図b) における銀部分は、黄銅部分との境界にむかって徐々に低くなっている。黄銅部分は、 $R_y = 約2\mu\text{m}$ の凹面であることがわかる。また、一番高い銀部分と黄銅部分の差は約 $7\mu\text{m}$ であることがわかった。測定部 $Z_1-Z_2$  (図c) における銀部分と黄銅部分の高低差は約 $4\mu\text{m}$ であることがわかった。これらのことから実験に使用したラップの銀部分は黄銅部分と比べて高くなっていることが確認できた。なお、図16には銀部分に

高いピークが認められるが、これはラップに埋め込まれている砥粒と考えた。

図15と図16の結果から、ラッピング回数に対するラッピング量の変化は次のように考えた。ラップ使用直後は黄銅と銀の部分が平坦であるために、ラッピング能力の高い黄銅部分がガラスをラッピングするためにガラスのラッピング量が多く得られる。ラッピング回数が増加すると黄銅部分が銀部分より低

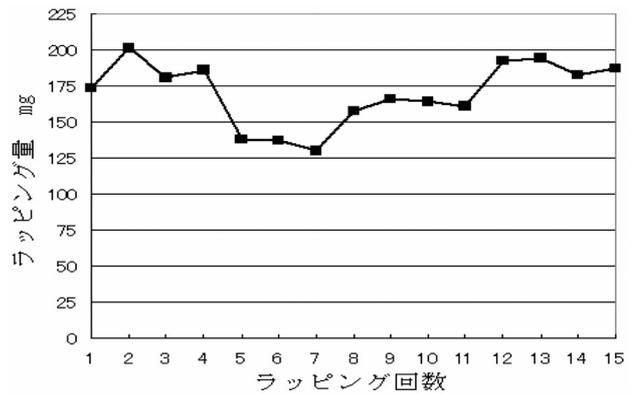


図15 ラッピング回数とガラスのラッピング量

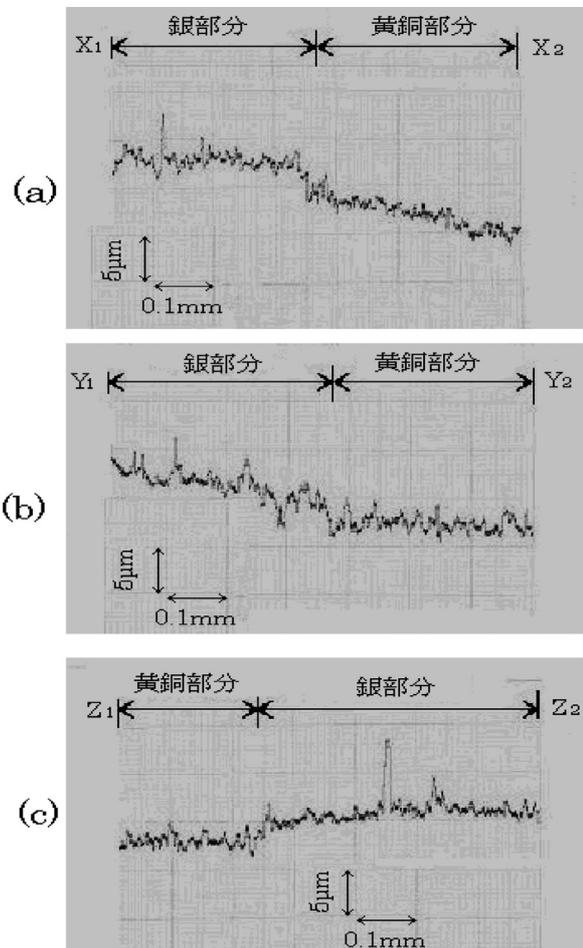


図16 ラップ表面の測定結果

くなってきて、ラッピング能力の低い銀部分でラッピングすることになるために減少すると考えた。

つまり、試作したバイメタルラップは凸部の銀部分で本現象を発現するラップであることが明らかになった。ただし、ラッピング回数がさらに増加するとガラスのラッピング量が増加する原因は不明である。

## 5. まとめ

本研究では、試作したバイメタルラップで本現象が発現することの推定、バイメタルラップのラッピング能力の測定、バイメタルラップによる本現象の発現メカニズムについて追究した。実験の結果、以下のような結論を得た。

- 1) 銀・黄銅バイメタルは繰り返しラッピングすると、本現象を発現する銀に近い特性を示す材料であることが明らかになった。銀・黄銅バイメタルをラップに使用すれば、銀ラップに近い特性を示すと推定した。
- 2) 銀・黄銅バイメタルラップは、黄銅ラップに近いラッピング能力を示すことがわかった。
- 3) 銀・黄銅バイメタルラップは、ラッピング中に生じた凸部の銀部分で本現象を発現するラップであると判断した。

## 6. 参考文献

- 1) 長尾不二夫：内燃機関講義（上），養賢堂，（1974）330.
- 2) 精機学会：新訂 精密工作便覧，コロナ社，（1970）741.
- 3) 精機学会：新訂 精密工作便覧，コロナ社，（1970）782～784.
- 4) 友田進，菅原章：陽イオン系界面活性剤によるガラスのラッピング，精密加工学会誌，64，4（1998）603.
- 5) 友田進，菅原章，小野元久：メチル基を有する4級アンモニウム化合物によるガラスのラッピング，精密工学会誌，67，5（2001）797.
- 6) 藤本隆士，友田進：脆性材料による銀のラッピングに関する研究（第一報）－ラップ液中の塩素イオンの影響－，精密工学会誌，73，3（2007）336.
- 7) 日本機械学会：機械工学便覧，丸善株式会社，（2001）B4—89.
- 8) 日本機械学会：機械工学便覧，丸善株式会社，（2001）B4—71.

