

銀とガラスのラッピング特性について

友田 進*・福万 祥教**

Study on lapping behavior of silver using glass lap

Susumu Tomoda*, Yoshinori Fukuman**

Abstract

The authors have recently researched an interesting phenomenon on lapping test for a silver work piece on a glass lapping plate using sodium chloride solution. It is an interesting phenomenon that the silver was not worn during the lapping process even under the condition of large stock removal of the glass lapping plate. The Following results are experimentally confirmed. : (1) The chloride ions and pH in solution are closely related to the prevention of wear of silver work piece. (2) For the test of silver-copper alloy work piece, the phenomenon was observed, in the case the copper content is low.

1. はじめに

船は、大量の積荷を安全、かつ迅速に運搬することを主な目的とする。この目的を達成するためには、主機関の信頼性が重要になってくる。主機関は信頼性を確保するために、その製作には高い加工精度が求められる。船用機関に用いられる精密な加工を必要とする部品例として、燃料噴射弁、シリンダ、クランク軸がある。燃料噴射弁はシリンダ内に燃料を霧状に噴射させるため、噴射圧力が数10MPaに達する¹⁾。このときニードル弁と弁座はメタルタッチで高圧力に耐える高精度な加工が必要になる。シリンダは、ピストンリング表面との気密を保ち、両者の焼き付きを防ぐための潤滑油を保持する加工が必要になる²⁾。また、クランク軸は初期摩耗による形状の変化³⁾や焼付き⁴⁾を防ぐため、凹凸の少ない表面が必要となる。

これらの部品の精度を高めるためには、多くの精密加工が用いられる。燃料噴射弁のニードル弁と弁座は精密なラッピング（研磨）が施されている。シリンダはホーニング加工を用いてシリンダ内面の精度を高めている。また、クランク軸のジャーナルには超仕上げ加工を用いる⁵⁾。

これらの内、船内で行うことが可能な精密加工はラッピングである。船内作業の例として、吸・排気弁やポンプの弁の摺り合わせがある。弁の摺り合わせは、弁や弁座に傷や摩耗が発生した場合に行われる。また、機関室で使用される種々のゲージ類加工の最終仕上げにもラッピングが用いられる⁶⁾。

ここで、ラッピングとは定盤であるラップと工作物の間に非常に小さな砥粒と、ラップ液といわれる水などの溶液を加えて両者を相対運動させることで、砥粒が工作物の表面をごく微量削り取り、加工精度の高い滑らかな面を得る方法である。このような工作機械をラップ盤と言う。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も摩耗してしまうため、その平坦度が損なわれ、そのまま長い時間ラップを使用すると工作物の形状精度は低下してしまう。このため、ラップの修正作業を行う必要がある⁷⁾。つまり、修正作業を必要としない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。

このような観点から、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、ラップである銀はラッピングされず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）に着目している⁸⁾。この現象を応用すれば、無摩耗銀ラップによるガラスのラッピングを行うことができる。

また、本現象の発現メカニズムをシリンダとピストンリングの関係に適用できれば、シリンダとピストンリング間の潤滑作用に新たな考えを見い出せる可能性がある。

そこで、本現象発現のメカニズムを追究するために、ラップ液中の塩化物が及ぼす影響、ラップ液のpH測定、ガラス粉と本現象との関係、ラッピング後のラップ剤の観察を行った。また、試料をAg-Cu合金に変えることで本現象の応用を試みた。

* 商船学科

** 専攻科海上輸送システム工学専攻

表1 ラップ液と銀のラッピング量の関係

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

試料：銀，ラップ：ガラス，砥粒：アルミナ，ラッピング時間：20分

2. ガラスラップを用いた銀の特異なラッピング現象

銀の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に代表的な実験例を示す。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ことがわかる。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結果をあわせて示したが、ラッピング量は23mgとなった。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をすでに見出している。

3. 実験

3.1 試料

実験に使用した試料を表2に示す。試料の材質は銀とAg-Cu合金である。銀の形状は直径20mm、厚さ5mm、Ag-Cu合金は20×20mmの板材で、厚さ2mm、Cu含有量が7.5wt%、10wt%、20wt%の3種類を用いた。

表2 試料

試料	銀 (20mmφ)
	Ag-Cu合金 (20×20mm) -7.5Cuwt%, 10Cuwt%, 20Cuwt%-

3.2 ラッピング装置

実験装置を図1と図2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に貼り付け、ガイドリング③に試料ホルダーを差し込み、

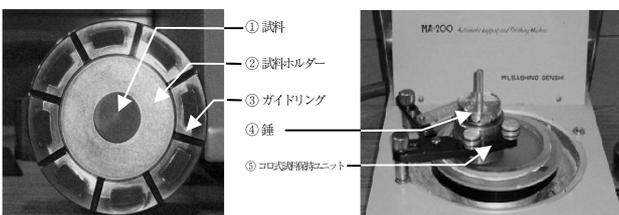


図1 ラッピング用道具



図2 ラッピング装置全体図

錘④により加圧 (ラップ圧力) 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およびガイドリングが自転する。

3.3 ラッピング条件

表3にラッピング条件を示す。ラップの材質は石英ガラスと鋳鉄で主に石英ガラスを使用した。ラップ液は塩化物水溶液で主に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。

表3 ラッピング条件

ラップ材質	石英ガラス (200mmφ)
	鋳鉄 (200mmφ)
ラップ液 (濃度)	塩化ナトリウム水溶液 (2 wt%)
	塩化第一錫水溶液 (1 wt%)
	塩化第二鉄水溶液 (1 wt%)
	塩化カリウム水溶液 (1 wt%)
	塩化亜鉛水溶液 (1 wt%)
砥粒 (粒径)	アルミナ (9.5 μm)
ラップ時間	20min
ラップ剤濃度	砥粒 (3g) + 水溶液 (10ml)
ラップ圧力	20kPa
ラップ回転数	30rpm

4. 実験結果と考察

4.1 ラップ液中の塩化物が特異なラッピング現象に及ぼす影響

本現象の発現にはラップ液中に塩化物が必要であると考えられる。そこで、塩化ナトリウム水溶液中のCl⁻が本現象に及ぼす影響を調べるために、陰イオン交換樹脂 (オルガノ株式会社製IRA410 (OH)) を用いて塩化ナトリウム水溶液のイオン交換を行い⁹⁾、Cl⁻を取り除いた水溶液を用いて銀をラッピングした。実験結果を表4に示す。表4より、陰イオン交換樹脂を用いて、イオン交換を行った水溶液では銀のラッピング量が15mgとなり、本現象は発現しなくなることが明らかになった。また、比較のために行った陽イオン交換樹脂 (ダウケミカル社製

表4 イオン交換を行った水溶液での銀のラッピング

ラップ液	ラッピング量	本現象の有無
陰イオン交換した塩化ナトリウム水溶液	15mg	発現しない
陽イオン交換した塩化ナトリウム水溶液	0mg	発現する

DOWEX50W-X12) での実験結果もあわせて示したが、本現象が発現することがわかった。Cl⁻の影響について調べた結果、本現象発現にラップ液中のCl⁻が大きく関わっていることがわかった。

塩化ナトリウム水溶液以外の塩化物水溶液で本現象が発現するのか調べるために、Cl⁻を含む塩化第一錫水溶液、塩化第二鉄水溶液、塩化カリウム水溶液、塩化亜鉛水溶液を用いて銀をラッピングした。実験結果を表5に示す。表5より、塩化カリウム水溶液と塩化亜鉛水溶液はラッピング量が0mgとなり、本現象が発現することがわかる。しかし、塩化第二鉄水溶液と塩化第一錫水溶液ではラッピング量が14mgと28mgとなり、本現象は発現しなかった。

このことからCl⁻を含む水溶液でも、本現象が発現するものと発現しないものがあることがわかった。

塩化物水溶液と本現象との関わりをさらに追究するために、それぞれの水溶液のpHを測定した。実験結果を表6に示す。表6より、本現象が発現した塩化カリウム水溶液と塩化亜鉛水溶液のpHは8.52と7.24であった。しかし、本現象が発現しなかった塩化第二鉄水溶液と塩化第一錫水溶液のpHは1.80と1.70となり、本現象が発現しない水溶液は強い酸性であることがわかった。また、本現象が発現する水溶液は中性に近いことから、水溶液のpHによって本現象が発現する塩化物水溶液と発現しない塩化物水溶液があることがわかった。

表5 塩化物水溶液による銀のラッピング

ラップ液	ラッピング量
塩化第一錫水溶液	28mg
塩化第二鉄水溶液	14mg
塩化カリウム水溶液	0mg
塩化亜鉛水溶液	0mg

表6 ラップ液のpH

ラップ液	pH
塩化第一錫水溶液	1.70
塩化第二鉄水溶液	1.80
塩化カリウム水溶液	8.52
塩化亜鉛水溶液	7.24

4. 2 ラップ液のpHと特異なラッピング現象との関係

4. 1で述べたように、Cl⁻を有する塩化物水溶液でも、pHによって本現象が発現するものと発現しないものがあることが明らかになった。そこで、ラップ液のpHとラッピング量にどのような関係があるのかを調べるため、pHを変化させた塩化ナトリウム水溶液をラップ液に用いて銀をラッピングした。塩化ナトリウム水溶液のpHは、塩酸と水酸化ナトリウムを添加することで変化させた。実験結果を図3に示す。図3より、pH=2.00のときにラッピング量が1.0mgとなり、pH=12.85のときにラッピング量は0mgとなった。pHがこの範囲を超えるとラッピング量が増えていくことから、本現象が発現する範囲は約2 < pH < 約12であることがわかった。

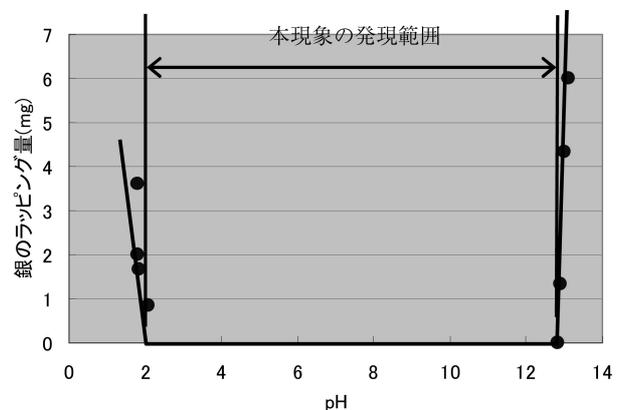


図3 ラップ液のpHとラッピング量の関係

4. 3 ガラス粉入り砥粒とラッピング量との関係

本現象は塩化ナトリウム水溶液と、脆性材料であるガラスラップを用いることで発現する。ラッピング中に発生するガラス粉が本現象に大きく関わっていることが考えられる¹⁰⁾。そこで、本現象とガラス粉の関係を調べるために、塩化ナトリウム水溶液にガラス粉を含む使用後のラップ液（ビーカ内で静沈させた上澄み液）と未使用のアルミナ砥粒を加えたラップ剤を用いて鋳鉄ラップ上で銀をラッピングした。また、比較のためにアルミナ砥粒と塩化ナトリウム水溶液を混濁したラップ剤による実験も行った。表7に実験結果を示す。表7より、砥粒にガラス粉が混ざると銀のラッピング量が極端に減少することがわかる。試料と砥粒の間で、ラッピング中に

生じるガラス粉が何らかの作用をしていると推測され、ガラス粉が本現象発現に大きく関わっていることがわかった。

表7 ガラス粉と銀のラッピング量との関係

砥粒	ラッピング量
アルミナ	6.0mg
アルミナ+ガラス粉	3.2mg

4. 4 電子顕微鏡による砥粒の観察

ラッピングは、二つの物体の間にラップ剤（砥粒+液体）を加え、両者を相対運動させて滑らかな加工面を得る加工法である。このとき、砥粒はラッピング中に破碎される。

そこで、本現象が発現したときの砥粒と、発現しないときの砥粒を観察し、本現象発現の有無によって砥粒の破碎にどのような違いが認められるか、電子顕微鏡を用いて観察した。

実験結果を図4.1～図4.3に示す。図4.1に未使用の砥粒を示す。図4.2と図4.3に使用後の砥粒を示す。図4.2と図4.3より、使用後の砥粒は角がとれて丸みを帯びた砥粒や、単体の形状を特定できない破碎された微小な砥粒が本現象の発現の有無にかかわらず観察された。しかし、本現象が発現した砥粒の表面には微小粉が付着する傾向が認められた。

このことから、ラッピング中に生じる砥粒の破碎のされ方が本現象に及ぼす影響は少ないと判断した。ただし、塩化ナトリウム水溶液をラップ液に用いた砥粒に付着した微小粉が、本現象にどのように

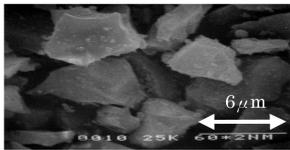


図4.1 未使用の砥粒

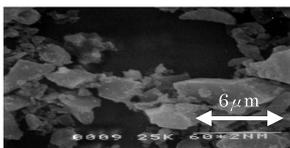


図4.2 使用後のラップ剤（精製水）

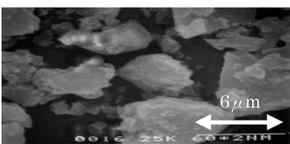


図4.3 使用後のラップ剤（塩化ナトリウム水溶液）

関係しているのか、ここでは明らかにできなかった。

4. 5 Ag-Cu合金への応用

銀ラップを用いてガラスをラッピングした場合、ラップを長時間使用すると、銀の軟らかさで銀ラップが塑性変形してしまう可能性がある。そこで、銀よりも硬質なAg-Cu合金を用いて実験を行った¹¹⁾。

4. 5. 1 Cu含有量が本現象に及ぼす影響

試料は、Cu含有量が7.5%、10%、20%の3種類のAg-Cu合金である。これらのAg-Cu合金を塩化ナトリウム水溶液を用いてガラスラップ上でラッピングした結果を図5に示す。図5に示したように、ラッピング量はCu含有量が少ない7.5%の合金で1.0mgとなり、10%では1.5mg、20%では12.0mgとなった。このことから、Cu含有量が約10%以下の合金では本現象を発現し、約10%以上の合金では本現象を発現しないことがわかった。

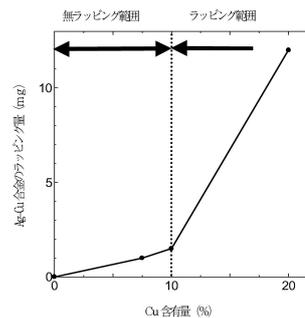


図5 Cu含有量とラッピング量の関係

4. 5. 2 Ag-Cu合金のX線回折

図5で示したように、Cu含有量が7.5%や10%では本現象が発現するが、20%になると本現象が発現しなかった。Ag-Cu合金の内部組織に何らかの原因があると考えられる。

そこで、Ag-Cu合金の内部組織とラッピング量との関係を調べるために、X線回折による組織分析を行った。実験に用いたX線回折装置（理学電機株式会社製）を図6に示す。表8に回折条件を示す。管電圧は40kV、管電流は20mAとした。また、銀と銅を回折したとき、Ag: $2\theta = 38^\circ$ 、Cu: $2\theta = 43^\circ$ で強い回折強度を示したので、回折範囲は $2\theta = 35^\circ \sim 45^\circ$ とした。以上の回折条件より、3種類のAg-Cu合金を回折し、 α 相（AgのCu固溶体）の回折強度を調べた。

実験結果を図7.1～図7.3に示す。図より、Cu含有量により α 相の回折強度が異なることが認められた。 α 相の回折強度の高さを比較した結果を表9に示す。表9より、 α 相がCu含有量の増加に伴って減



図6 X線回折装置

表8 回折条件

管電圧・管電流	40 kV・20 mA
フルスケール	5 kcps
SCAN SPEED	4 θ° /min
回折範囲	35° ~ 45°

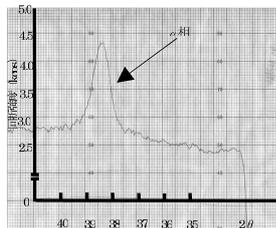


図7.1 X線回折結果 (Ag 92.5% - Cu7.5%)

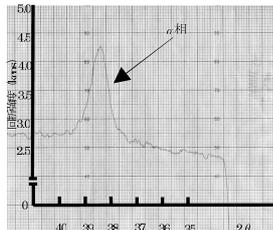


図7.2 X線回折結果 (Ag 90% - Cu10%)



図7.3 X線回折結果 (Ag 80% - Cu20%)

少することが確認できた。そこで、図5で示したラッピング量と回折強度の関係を調べた結果を図8に示す。図8より、 α 相の回折強度はCu含有量が増えるに従い減少しており、ラッピング量と α 相の回折強度が背反することがわかった。

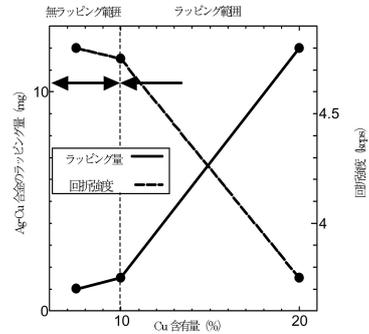


図8 ラッピング量と回折強度の関係

4. 5. 3 光学顕微鏡によるAg-Cu合金の観察

図8に示した α 相の回折強度とラッピング量の関係から、Cu含有量が増えると α 相の量が少なくなり、ラッピング量は増加することが確認できた。 β 相(CuのAg固溶体)の増加によってラッピング量が増加すると考えられる。しかし、実験に使用したX線回折装置では β 相の回折強度を確認することが困難なために、光学顕微鏡により β 相を観察した。

Ag-Cu合金のエッチングは、アンモニア水と過酸化水素水を1:1で混合させた液で10秒間の腐食を2回行った¹²⁾。実験結果を図9.1~図9.3に示す。白い相は α 相、黒い相は α 相と β 相の共晶である。共晶を β 相と位置づけ、共晶が占める割合を調べた結果を表10に示す。表より、Cu含有量の増加に伴って共晶の割合も多くなっていることが確認できた。Ag-Cu合金のラッピング量と共晶の割合との関係を図10に示す。図より、共晶が増加するとラッピング量も増加することがわかった。このことから、Cu含有量の割合が増えると本現象が発現しなくなる原因は、合金中の β 相がラッピングされるためと推測した。

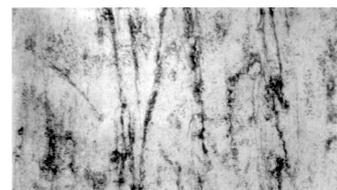


図9.1 Ag - Cu合金の内部組織 (Ag 92.5% - Cu7.5%)

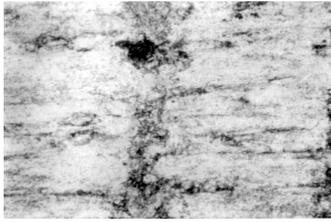


図9.2 Ag-Cu合金の内部組織 (Ag 90%-Cu10%)

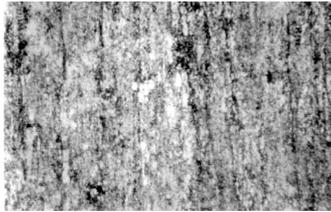


図9.3 Ag-Cu合金の内部組織 (Ag 80%-Cu20%)

表10 Cu含有量と共晶の関係

Cu含有量 (%)	共晶の割合 (%)
7.5	17.60
10	19.92
20	36.51

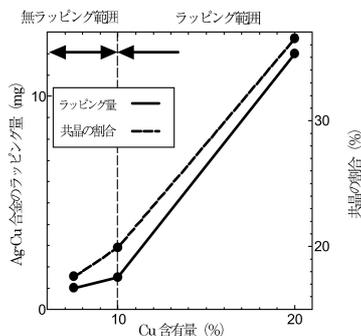


図10 ラッピング量と共晶の関係

5. まとめ

本研究では、ラップにガラス、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銀をラッピングすると、ラップであるガラスはラッピングされるが、銀はラッピングされない非常に特異な現象に着目し、本現象発現のメカニズムを追究するため、ラップ液中の塩化物が及ぼす影響、ラップ液のpHの測定、ガラス粉と本現象との関係、ラッピング後のラップ剤の観察を行った。また、試料をAg-Cu合金に変えることで本現象の応用を試みた。

実験の結果、以下のことが明らかになった。

1. 本現象の発現には、ラップ液中の Cl^- が大きく関わっていることがわかった。
2. Cl^- を含む水溶液であってもpHが約 $2 < \text{pH} < 12$ の塩化物水溶液で本現象を発現することがわかった。
3. 鑄鉄ラップで銀をラッピングした場合、ガラス粉を砥粒に混合すると銀のラッピング量が減少することがわかった。
4. ラッピング中に発生する砥粒の破碎状態は本現象の発現の有無にかかわらずほとんど変わらないことがわかった。
5. Cu含有量の少ないAg-Cu合金であれば、本現象が発現することがわかった。また、Cu含有量の多いAg-Cu合金がラッピングされる原因は、合金中の β 相がラッピングされるためと推測した。

参考文献

- 1) 日本機械学会：機械工学便覧，明善印刷，(1974) 14-58
- 2) 田中義信，津和秀夫：精密工作法（下），共立出版，(1975) 386
- 3) 田中義信，津和秀夫：精密工作法（下），共立出版，(1975) 416
- 4) 青木健：船用ディーゼル機関概説，成山堂，(1982) 231
- 5) 田中義信，津和秀夫：精密工作法（下），共立出版，(1975) 420
- 6) 中島利勝，鳴瀧則彦：機械加工学，コロナ社(2003) 210
- 7) 精機学会：新訂 精密工作便覧，コロナ社(1970) 785
- 8) 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
- 9) 清水博：イオン交換樹脂，共立出版，(1961) 2
- 10) 中島利勝，鳴瀧則彦：機械加工学，コロナ社(2003) 210
- 11) 日本金属学会編：金属便覧，丸善，(2000) 589
ギュンター・ペツォー：金属エッチング技術，アグネ，(1997) 39