

ものづくりを伝承した魔鏡（鋳銅鏡）の研究 — 魔鏡におけるナノデフレクション機構の解明 —

報告者 理工学部機械工学科 教授 米田博幸

共同研究者 理工学部機械工学科 講師 浅野和典

理工学部シニアサイエンティスト 釘宮公一

1. 背景

金属鏡のうち鏡面は普通の鏡と変わりはないが、鏡面に光を当ててその反射光を壁面などに投影すると、鏡背の模様（肉厚を変えて出したり、鑿で彫ったりしたもの）が写し出されるというものがある（図1）。このような鏡を魔鏡といい、江戸時代には、禁教下で、裏面に隠されたキリスト像の投影に使われた「隠れ切支丹（きりしたん）鏡」としても知られている。かつての鏡は、青銅など金属を鋳出して作られた貴重品で、歳月とともに鏡面が曇ると、職人が磨き上げて輝きを取り戻した。研磨を重ね、鏡面が薄くなると、裏面の凹凸によって鏡面に加わる研磨の圧力が変化し、裏の凹凸に沿って、鏡面にもわずかな

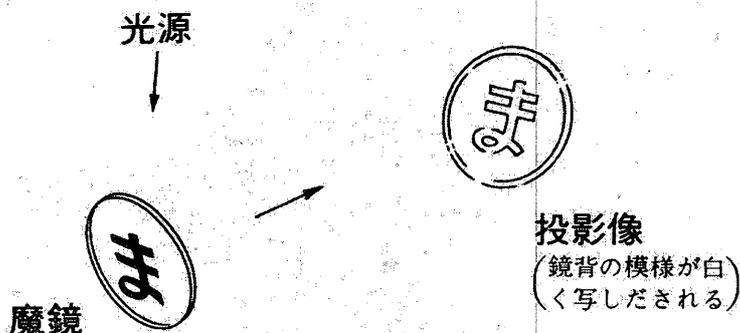


図1 魔鏡現象の概念図

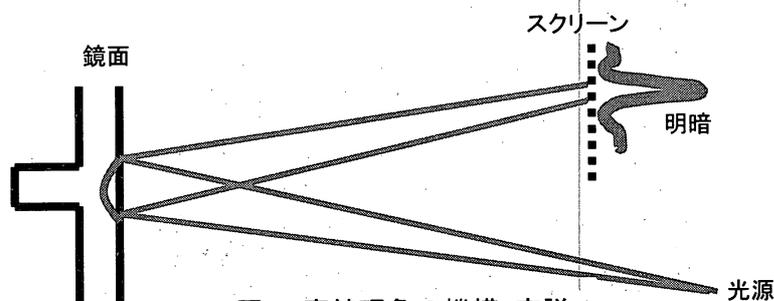


図2 魔鏡現象の機構・定説

凹凸ができる。これが光を反射すると、裏と同じ模様を投影するのが魔鏡現象だと一般にいわれている（図 2）。しかしそのメカニズムにはいまでも多くの謎が残されており、研磨により鏡面にできる凹凸では魔鏡現象の半分以下しか証明できず、残る要因は今も解明されていない。

一方で、魔鏡の製造技術は現代のハイテク産業を支えている。微細な表面凹凸を瞬時に検知（表面評価）する技術は、超 LSI 用ウエハやハードディスク、液晶用ガラスなどの鏡面検査のほか、いまでも最先端部分を熟練職人の経験に委ねる研磨工程管理にとって、欠かせないものとなっている。

そこで本研究では、多様なデータ分析が容易にできる世界最大級の巨大魔鏡を製作し、魔鏡現象のメカニズムを解明することとした。

2. 目的

世界最大級の巨大魔鏡を製作し、その魔鏡現象を解明し、原理を検証することにより、超 LSI（大規模集積回路）用のウエハやハードディスクなどの鏡面の検査、さらにいまでも“職人の勘”に頼る研磨工程管理などの改善に役立てることを目的とする。

3. 研究組織

- 近畿大学 米田、浅野、釘宮
魔鏡の設計、研磨・琢磨、形状計測、魔鏡現象の解明
- 都金属工業（共同研究企業）
魔鏡の方案設計、鋳造、切削加工
- 京都大学 富井（学外共同研究者）Discovery Channel 門脇（学外共同研究者）
魔鏡の科学技術的調査、実証実験

4. 魔鏡の製作

(1) 木型（鋳型を作製するための模型）の製作

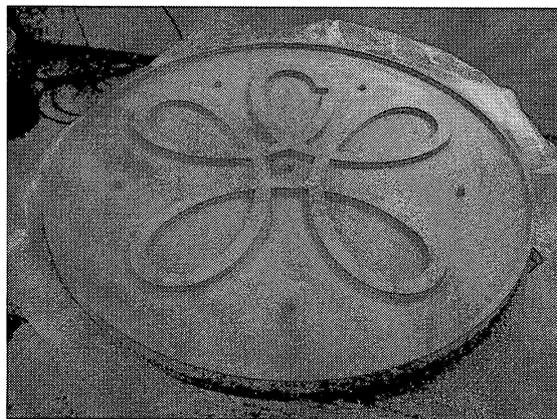
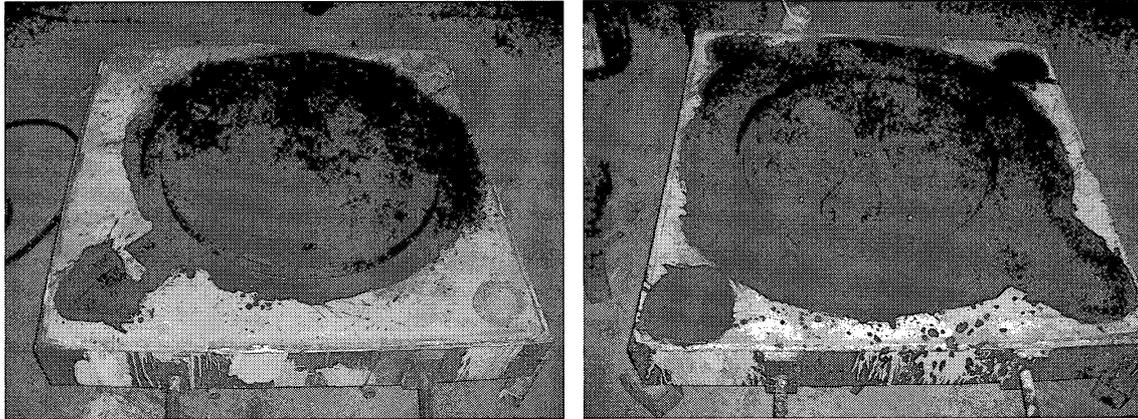


図 3 鋳型を作製するための模型

(2) 鑄型の作製



(a) 鏡面側

(b) 文様面（背面）側

図 4 鑄型（型合わせ前）

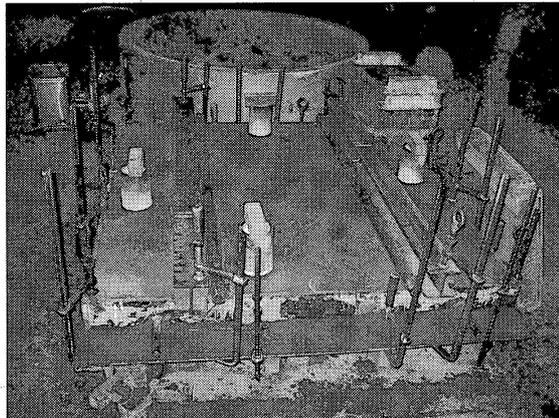
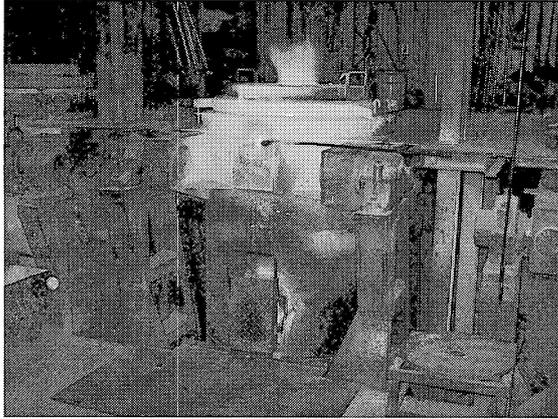


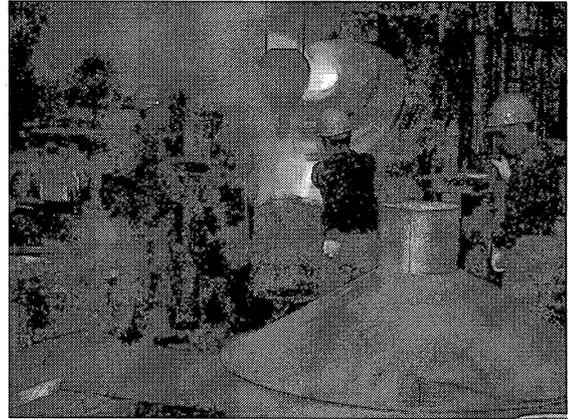
図 5 鑄型（型合わせ後）

(3) 銅合金の溶解・鑄造

銅合金（JIS-CAC403）の溶解には、図 6 に示す重油燃焼式ろつぼ炉を用いた。 $\Phi 1020\text{mm}$ の魔鏡鑄造の際の銅合金溶解重量は約 400kg である。型ばらし後の鑄物は湯口、堰などを除去し、各部の形状・寸法を詳細に測定した。



(a) 溶解炉の外観



(b) 溶解炉から溶湯を取鍋（とりべ）に移す

図 6 銅合金の溶解

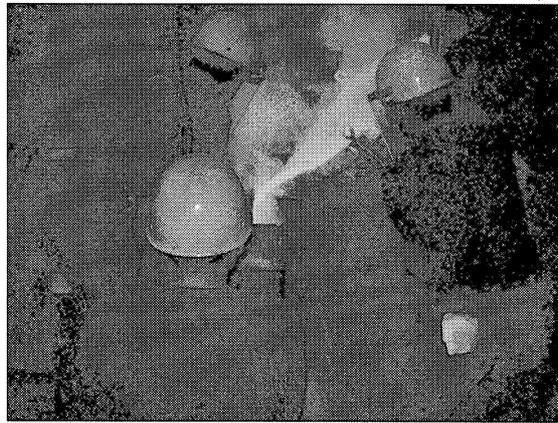


図 7 鋳型へ注湯

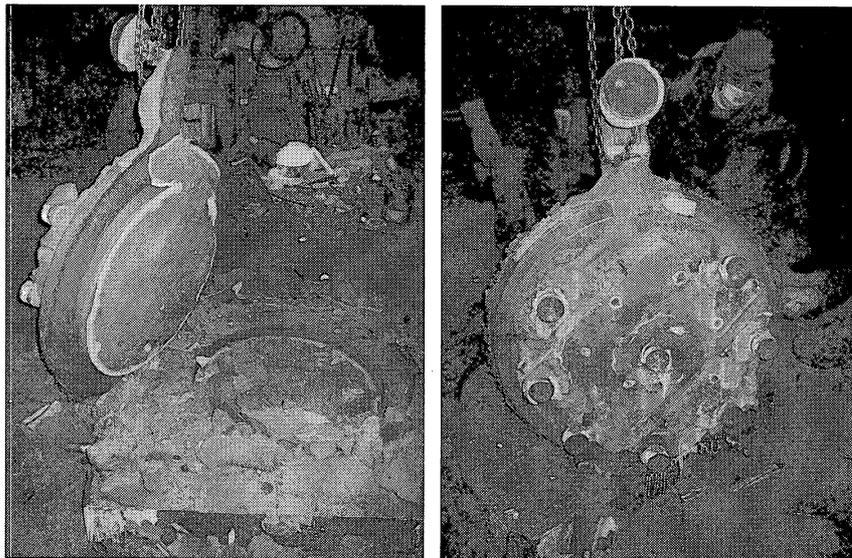
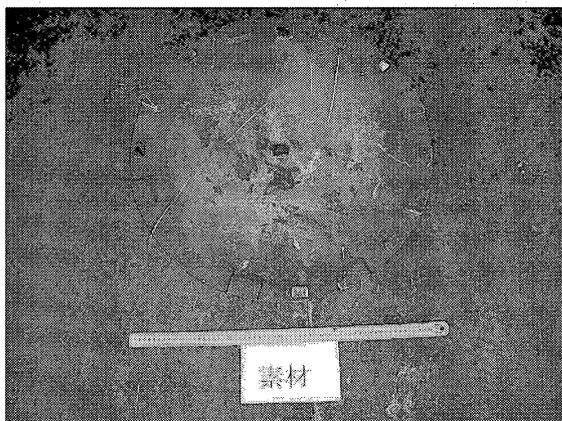
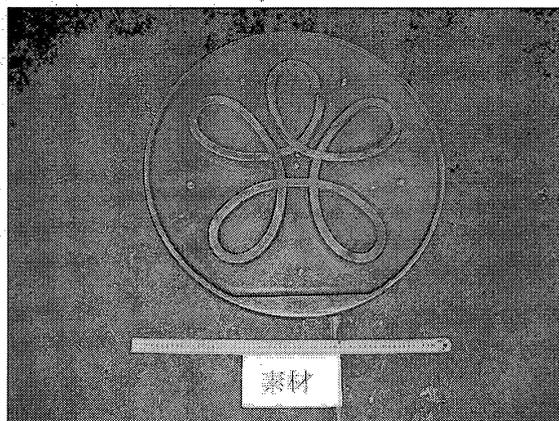


図 8 凝固後の型ばらし



(a) 鏡面側



(b) 文様面 (背面) 側

図 9 湯口、堰などを除去した鋳物

(4) 研削加工

得られた鋳物の鏡面側を旋盤により慎重に研削加工した。加工条件は、送り 0.08mm/rev、

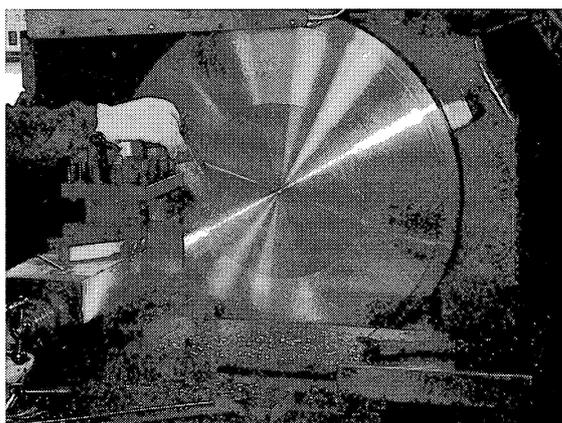


図 10 研削加工

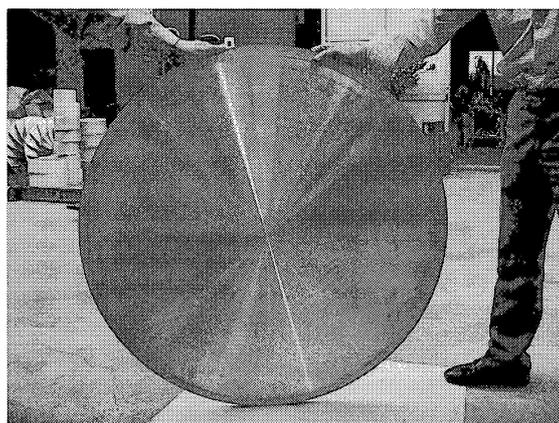


図 11 研削加工後の鋳物外観 (鏡面側)

回転速度 130rpm で、1 回の切削所要時間は約 50 分であった。

この後、鏡面側を手作業により慎重に研磨・琢磨して鏡面肉厚を薄くしかつ鏡面に仕上げながら魔鏡現象を得る。

5. 成果

今回作製したものは、鋳銅鏡の鏡面側をステンレス平板 (琢磨して鏡面仕上げし魔鏡現象を出現させている) でカバーしたものである。鏡面に光を当て、スクリーンに反射させると、「和」の文字が映し出される。

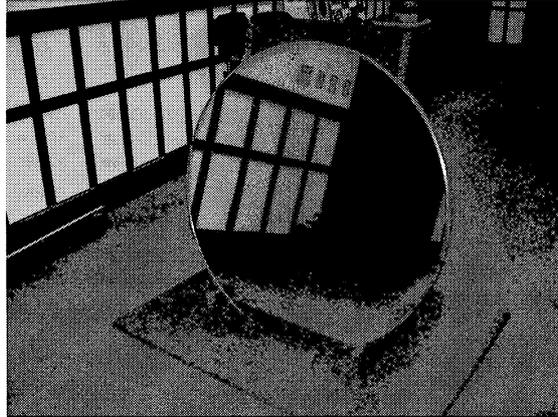


図 12 作製した魔鏡（直径 1020mm(世界最大)、裏面文様 近畿大学学園章）

6. 成果発表

平成 18 年度における成果発表

2006. 12. 6～8 江戸のモノづくり国際シンポジウム「近世科学技術の DNA と現代ハイテクにおける我が国技術アイデンティティの確立」（京大）に出展（図 13 (a)）

2007. 1. 16～2. 18 東京・上野 国立科学博物館「Monodzukuri（ものづくり）展」（経済産業省等後援）で世界最大の魔鏡を出展（図 13 (b)）

2007. 1. 16 NHKBC1 テレビ BS ニュース、毎日新聞（東京本社夕刊）朝日新聞（東京本社夕刊）、日本経済新聞（大阪本社夕刊）、読売新聞フォトニュース、その他地方紙など、新聞、テレビ、インターネット等で近畿大学の研究チームが世界最大の魔鏡を製作したことを発表

2007. 1. 17 NHKテレビおはよう日本、日刊工業新聞、朝日新聞（大阪本社）、地方紙などが世界最大の魔鏡製作について報道

（新聞報道等の記事例を巻末に添付した）

7. まとめ

大型魔鏡（直径 1 m 超）を製作することによって、魔鏡現象についての従来の通説である研磨工程に起因する鏡面での凹凸の発生（押圧研磨説）以外に、これまで軽微とされていた熱応力や加工ひずみの影響も無視できないことが推察された。次年度にこの詳細な測定を行う予定。

数個の青銅鏡の鑄造実験により大型鑄銅鏡の鑄造技術やノウハウを得ることができた。この技術は大型薄肉平板鑄物の製造に適用しうる。

魔鏡解析の成果は、超 LSI 用のシリコンウエハ、HDD、液晶などの超鏡面評価における高精度かつ簡便な評価手段として応用が可能である。

また、神秘的な魔鏡は人々の興味を強く引きつけることから、ものづくり展などに出展し積極的に協力した。更に、モノづくり国際シンポジウムの展示会やメディアを通じて日本の伝統技術を広く国内外に発信するなど、社会的な貢献も大きいといえる。

8. 今後の展開

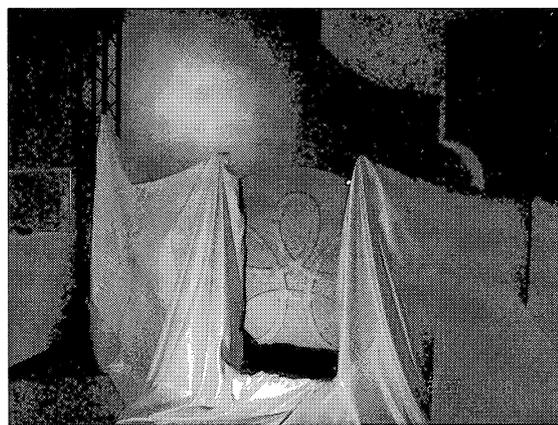
魔鏡現象の発現機構に関する実験、研究；

1. 実証実験と検証／熱応力と機械加工応力分離
2. 実験試料の作製と表面状態の精密計測
3. 魔鏡の光学的評価

これらのことから、魔鏡現象の発現機構を明らかにする。



(a) 「江戸のモノづくり国際シンポジウム」
に出展(2006.12.6)



(b) 国立科学博物館「MONODZUKURI」展
に出展(2007.1.16)

図 13 出展