

JAERI-M
91-177

キャニスタ材に対する模擬高レベル廃棄物ガラスの付着性

1991年11月

富樫 喜博・栗山 修*・田代 晋吾

日本原子力研究所
Japan Atomic Energy Research Institute

JAERI-Mレポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。

入手の間合わせは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11 茨城県那珂郡東海村）にて、お申し込みください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費領布をおこなっております。

JAERI-M reports are issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Division Department of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokaimura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1991

編集兼発行 日本原子力研究所
印刷 ニッセイエプロ株式会社

キャニスタ材に対する模擬高レベル廃棄物ガラスの付着性

日本原子力研究所東海研究所ホット試験室

富樫 喜博・栗山 修*・田代 晋吾

(1991年10月1日受理)

キャニスタ材として考えられている金属試験片表面に模擬高レベル廃棄物を含む溶融ガラスを滴下・付着させる実験を行い、材質、温度、表面粗さ等の因子がガラスの付着挙動にどのように影響を及ぼすのかを調べた。

その結果、SUS304L、SUS309S及びインコネル600試験片においては、試験片予熱温度がガラス転移温度以上になるとガラスの付着が起こり、ガラス付着率は予熱温度が増すにつれて増加する傾向にあることを確認した。一方、チタン試験片においては、予熱温度にかかわらず、ガラス付着率は小さいことが明らかになった。また、ガラス付着率は試験片の表面粗さと無関係であることが分かった。

Adherent Behavior of Simulated Waste Glass to Canisters

Yoshihiro TOGASHI, Osamu KURIYAMA* and Shingo TASHIRO

Department of Hot Laboratories
Tokai Research Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received October 1, 1991)

To clarify the radioactive contaminability of canister surface at the vitrification operation of high-level wastes, the adherent behavior of a simulated waste glass to the candidate materials was tested changing specimen materials, temperature and surface roughness.

It was found that the adhesion to materials except titanium began at the transition temperature of the glass and increased as the specimen temperature rose, and that of titanium was negligible even over the transition temperature.

It was also found that the surface roughness of materials had not any relation to the adhesion.

Keywords: Glass, Simulated High-level Waste, Canister, Adhesion

* Energy Research Laboratory, Hitachi Ltd.

目 次

1. 緒 言	1
2. 実 験	1
2.1 模擬高レベル廃棄物ガラス	1
2.2 試験片	1
2.3 実験方法	2
3. 結果および考察	3
3.1 試験片予熱温度の影響	3
3.2 試験片材質の影響	3
3.3 試験片表面粗さの影響	4
3.4 試験片表面処理の効果	4
3.5 チタンにおける酸化物被膜の効果	4
4. 結 言	5
謝 辞	5
参考文献	5

Contents

1. Introduction	1
2. Experiments	1
2.1 Glass Containing Simulated High-level Waste	1
2.2 Specimens	1
2.3 Experimental Procedure	2
3. Results and Discussions	3
3.1 Influence of Surface Temperature on Adhesion of the Glass to the Specimen	3
3.2 Influence of Materials on Adhesion of the Glass to the Specimen	3
3.3 Influence of Surface Roughness on Adhesion of the Glass to the Specimen	4
3.4 Effect of Surface Pre-treatment on Adhesion of the Glass to the Specimen	4
3.5 Effect of Oxide Layer on Adhesion of the Glass to Titanium .	4
4. Conclusions	5
Acknowledgments	5
References	5

1. 緒 言

使用済燃料の再処理によって発生する高レベル放射性廃棄物は、ガラス固化体にして貯蔵処分する計画が進められている。そのガラス固化体は、廃液を蒸発乾固したのち、メルター内でホウケイ酸ガラスの母材と共に溶融し、金属性のキャニスタに封入することになっている。その場合、1100～1200℃の温度で溶融されたガラスは、メルター下部の取り出し口から融液のままキャニスタに注入される。この工程において、溶融ガラスの流れ始め及び流れ終わりに、ガラスの飛沫がキャニスタ外表面に付着して、キャニスタ外表面を汚染することが起こり得るし、溶融ガラスからの揮発物がキャニスタ外表面に付着することも想定されている。これらの汚染物は、ガラス固化後のキャニスタの運搬及び貯蔵時において、キャニスタからはく離、飛散し、それが原因で放射性核種が環境中へ移行する可能性がある。従って、現実には、ガラス固化体を封入したキャニスタは、表面を除染したのち搬出することになっている。この様な作業工程を考慮し、溶融ガラスによるキャニスタ材表面の汚染性及び除染性を調べることは、キャニスタの運搬及び貯蔵時の安全評価に必要な基礎データを提供する点で重要な意味を持っている。

今回、キャニスタ材として考えられている金属試験片表面に溶融ガラスを滴下・付着させる実験を行い、材質、温度、表面粗さ等の因子がガラスの付着挙動にどのように影響を及ぼすのかを調べたので報告する。

2. 実 験

2.1 模擬高レベル廃棄物ガラス

実験に用いた模擬高レベル廃棄物ガラスは、ガラス組成がCOGEMA社仕様で、模擬廃棄物組成がJW-Dであるホウケイ酸ガラスである¹⁾。Table 1にガラス組成及び模擬廃棄物組成を示す。模擬高レベル廃棄物ガラスは次のようにして作製した。模擬廃棄物試薬と添加物試薬を同時に混合し、白金るつぼを用いて1150℃で2時間溶融した後、溶融ガラスをグラファイト型枠に注入した。そして560℃で1時間以上徐冷した後、20℃/hよりも小さい冷却速度で室温になるまで冷却した。このガラスは熱衝撃試験²⁾用に作製したもので、本実験では再溶融して用いた。また、このガラスの特性は、転移温度が493～500℃、線膨張係数が室温～300℃においては 8.4×10^{-6} (°C⁻¹)、300～400℃においては 9.7×10^{-6} (°C⁻¹)、また、ヤング率が93.7(GPa)である³⁾。

2.2 試験片

試験する材質としては、キャニスタ材に適していると考えられるSUS304L、SUS309S、インコネル600及びチタンを取り上げた。試験片の寸法は、長さ50mm×幅30mm×厚さ5mmで、表面粗さはJIS

1. 緒 言

使用済燃料の再処理によって発生する高レベル放射性廃棄物は、ガラス固化体にして貯蔵処分する計画が進められている。そのガラス固化体は、廃液を蒸発乾固したのち、メルター内でホウケイ酸ガラスの母材と共に熔融し、金属性のキャニスタに封入することになっている。その場合、1100～1200℃の温度で熔融されたガラスは、メルター下部の取り出し口から融液のままキャニスタに注入される。この工程において、熔融ガラスの流れ始め及び流れ終わりに、ガラスの飛沫がキャニスタ外表面に付着して、キャニスタ外表面を汚染することが起こり得るし、熔融ガラスからの揮発物がキャニスタ外表面に付着することも想定されている。これらの汚染物は、ガラス固化後のキャニスタの運搬及び貯蔵時において、キャニスタからはく離、飛散し、それが原因で放射性核種が環境中へ移行する可能性がある。従って、現実には、ガラス固化体を封入したキャニスタは、表面を除染したのち搬出することになっている。この様な作業工程を考慮し、熔融ガラスによるキャニスタ材表面の汚染性及び除染性を調べることは、キャニスタの運搬及び貯蔵時の安全評価に必要な基礎データを提供する点で重要な意味を持っている。

今回、キャニスタ材として考えられている金属試験片表面に熔融ガラスを滴下・付着させる実験を行い、材質、温度、表面粗さ等の因子がガラスの付着挙動にどのように影響を及ぼすのかを調べたので報告する。

2. 実 験

2.1 模擬高レベル廃棄物ガラス

実験に用いた模擬高レベル廃棄物ガラスは、ガラス組成がCOGEMA社仕様で、模擬廃棄物組成がJW-Dであるホウケイ酸ガラスである¹⁾。Table 1にガラス組成及び模擬廃棄物組成を示す。模擬高レベル廃棄物ガラスは次のようにして作製した。模擬廃棄物試薬と添加物試薬を同時に混合し、白金るつぼを用いて1150℃で2時間熔融した後、熔融ガラスをグラファイト型枠に注入した。そして560℃で1時間以上徐冷した後、20℃/hよりも小さい冷却速度で室温になるまで冷却した。このガラスは熱衝撃試験²⁾用に作製したもので、本実験では再熔融して用いた。また、このガラスの特性は、転移温度が493～500℃、線膨張係数が室温～300℃においては 8.4×10^{-6} (°C⁻¹)、300～400℃においては 9.7×10^{-6} (°C⁻¹)、また、ヤング率が93.7(GPa)である³⁾。

2.2 試験片

試験する材質としては、キャニスタ材に適していると考えられるSUS304L、SUS309S、インコネル600及びチタンを取り上げた。試験片の寸法は、長さ50mm×幅30mm×厚さ5mmで、表面粗さはJIS

規格における仕上げ記号”▽ (最大高さ100 μ m)” ~ ”▽▽▽▽ (最大高さ0.8 μ m)” のものを使用した。通常の試験には、アセトン中での超音波洗浄後、デシケータ中に保存しておいた試験片を使用した。表面処理効果を調べる試験では、表面に塩酸の1N溶液を塗布し、自然乾燥させた試験片を使用した。

2.3 実験方法

試験片は、るつぼ炉内のステンレス製支持台の上に置き、試験片表面のほぼ中央に取付けたシース型熱電対により表面温度を記録できるようにした。実験はまず、模擬高レベル廃棄物ガラスの破碎粒を白金るつぼに入れ、るつぼ炉を用いて1100 $^{\circ}$ Cで再熔融することから始めた。次に、予熱しておいた試験片が所定温度に到達したことを確かめた後、試験片表面に熔融ガラスを約10g滴下した。この滴下ガラスの量は、30mm幅の試験片全面におよそ1g/cm²滴下できる量ということで決めた。

Fig. 1は、熔融ガラスを試験片表面へ滴下した時の試験片表面温度の時間変化測定の一例を示している。約1100 $^{\circ}$ Cの熔融ガラスが試験片表面に滴下された場合、表面温度は一時的に900 $^{\circ}$ Cまで上昇するものの、5分程度で予熱温度(600 $^{\circ}$ C)まで下がった。熔融ガラスは試験片に滴下されると、表面張力のために直径約3cmの円形に広がり、不完全な濡れを示した。その後、熔融ガラスの滴下された試験片を予熱温度と同じ温度で一時間保持した後、るつぼ炉の電源を切り、炉内で室温まで放置した。

冷却後、滴下ガラス及び付着ガラスの重量を天秤で測定し、次式で定義したガラス付着率を求めた。この様にチタン以外の試験片の場合は、滴下ガラスが試験片表面に付着し、はく離ガラス側に試験片材料の酸化物の付着は見られない。但し、ここでいう付着ガラスとは、ガラスの付着した試験片を振動機の上に乗せ、試験片の両端を手で軽く押え、5分間振動させてもなお試験片に付着しているガラスのことを言う。

$$\text{ガラス付着率(wt\%)} = \frac{\text{付着ガラス重量 (g)}}{\text{滴下ガラス重量 (g)}} \times 100(\%) \quad (1)$$

チタンの場合は、その他の材料とは異なり、滴下ガラスは試験片へ付着しないかわりに、チタンの酸化物がガラスに付着してはく離していた。そのはく離したチタン量を測定するため、ガラスをフッ酸溶液に浸漬し、ガラスと一緒にはく離した全チタンを溶解した。溶液中のチタン濃度をICP発光分析装置で分析し、次式でガラスの単位付着面積当りのはく離チタン量を求めた。

$$\text{はく離チタン量} (\mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}) = \frac{\text{はく離した全チタン量} (\mu\text{g})}{\text{ガラスの付着面積} (\text{cm}^2)} \quad (2)$$

3. 結果および考察

3.1 試験片予熱温度の影響

ガラス付着率に対する試験片の予熱温度の影響を調べるために、材質をSUS304Lに限定し、表面粗さ▽▽の試験片について、予熱温度を300～650℃の間で変えてガラス付着の試験を行なった。Fig. 2は、その結果を図示したものである。予熱温度が400℃を超えると滴下ガラスの付着が生じ、その付着量は約480℃を超えると急激に増加する。

試験片へのガラスの付着に関しては、試験片表面の酸化物被膜の存在が重要な役割を果たしていることが指摘されている^{4), 5)}。試験片表面の酸化物被膜に溶融ガラスが滴下された場合、酸化物被膜は酸化物で構成されている溶融ガラスに溶解・反応を起こして反応層を形成し、この反応層を介してガラスの付着が起こるものと推察される。ガラスの付着量が急激に増加した温度(480℃)はガラス転移温度である493～500℃にほぼ等しく、転移温度を越えるとガラス成分の再配列が可能になることから、ガラスと酸化物被膜との反応が進み反応層の形成が容易になるため、ガラスの付着が増大するものと考えられる。

一方、試験片へのガラスの付着を減少させるのは、金属試験片とガラスの熱的性質の違いによるガラスの破壊・脱落あるいは表面反応層の変質によるはく離が考えられる。更に、金属表面からのガラスのはく離現象は、(1)金属地金と酸化物間ではく離、(2)酸化物層間ではく離、(3)酸化物とガラス間ではく離に分類できると言われている⁶⁾。

予熱温度がガラス転移温度以下の場合、溶融ガラス滴下直後一時的に試験片温度がガラス転移温度を越えるものの、すぐに予熱温度と同じ保持温度に戻るため、ガラスの粘度は高くなり、ガラスと酸化物被膜との反応はほとんど起こらず反応層は形成されにくい。酸化物被膜とガラス間ではく離が生じ、ガラス付着率が低くなったものと考えられる。一方、予熱温度がガラス転移温度以上の場合、溶融ガラス滴下直後の試験片温度も高く、その後の保持温度もガラス転移温度以上であるため、ガラスは粘性流動をおこし易く、ガラスと酸化物被膜との反応が進み反応層が形成され、ガラスと反応層との付着が強固になり、冷却時のガラスの破壊による脱落を差し引いてもなお、ガラス付着率が高くなったものと推定される。

3.2 試験片材質の影響

ガラス付着率に対する試験片材質の影響を調べるために、表面粗さを▽▽に限定し、SUS304L、SUS309S、インコネル600及びチタンの試験片について、予熱温度を300～650℃の間で変えてガラス付着の試験を行なった。Fig. 3は、その結果を図示したものである。SUS304L、SUS309S及びインコネル600では、予熱温度がガラス転移温度以上になるとガラスの付着が急増し、予熱温度の上昇と共にガラス付着率が増加している。この付着率増加の傾向は、SUS309SではSUS304Lと同じであるが、インコネル600では2倍程度まで大きくなっている。一方、チタンの場合、予熱

温度が上昇しても付着率の増加は見られず、予熱温度が640°Cまでのガラス付着率は0.1wt%以下であった。

Photo. 1に、予熱温度が600°C、表面粗さが▽▽のSUS304L及びチタンの試験片についてガラス付着の試験を行ったときの、冷却後における試験片とガラスとを示す。SUS304Lの場合、はがれたガラスは一部が欠損しており、この欠損部分が試験片に付着しているのが観察される。一方、チタンの場合、試験片へのガラスの付着はほとんど観察されず、ガラスはほぼ完全な形ではく離している。

3.3 試験片表面粗さの影響

ガラス付着率に対する試験片の表面粗さの影響を調べるために、材質をSUS304Lに限定し、表面粗さが▽；6片，▽▽▽；1片，▽▽▽▽；3片の試験片について、予熱温度を300～650°Cの間で変えてガラス付着の試験を行なった。Fig. 4は、その結果を図示したものである。種々の表面粗さの試験片を用いた予熱温度に対するガラス付着率の増加曲線は、Fig. 2の表面粗さ▽▽の試験片を用いた予熱温度に対するガラス付着率の増加曲線と一致していることから、ガラス付着率は試験片の表面粗さには依存しないと言える。

3.4 試験片表面処理の効果

ガラス付着率に対する表面処理の効果を調べるために、表面粗さを▽▽に限定し、表面に塩酸を塗布したSUS304L及びインコネル600試験片について、予熱温度を300～650°Cの間で変えてガラス付着の試験を行なった。Fig. 5は、その結果を図示したものである。両試験片共塩酸で表面処理をした場合、ガラス転移温度以上でも試験片へのガラスの付着が見られなくなった。これは、塩酸処理によって試験片の表面の酸化物被膜が除去された結果、チタン金属に対するガラス付着率と同一傾向になったものと考えられる。

3.5 チタンにおける酸化物被膜の効果

Fig. 6は、表面粗さが▽▽のチタン試験片についてガラス付着の試験を行なったときの、試験片からはく離したガラスに同伴されてはく離したチタン量と予熱温度との関係を示したものである。はく離チタン量は、予熱温度の上昇と共に増加している。550°Cより低い予熱温度におけるはく離チタン量は、ICP発光分析装置の検出限界以下であった。

チタンの場合、予熱温度が高い時、はく離したガラスにチタンが同伴されていたことから、チタンからのガラスのはく離現象は金属地金と酸化物間ではく離、又は、酸化物層間ではく離である。チタンは酸化物被膜と反応を起こすものの、チタン酸化物は多孔質で弱いため、冷却時に生じるガラスの熱応力に耐えきれず破壊され、破壊されたチタン酸化物の一部がガラスに付着してチタン試験片からはく離したものと考えられる。また、予熱温度が高くなるにつれて、はく離チタン量が増えるのは、予熱温度の上昇に伴って酸化物被膜層が増加したためと考えられる。

4. 結 言

キャニスタ材として考えられている金属試験片表面に模擬高レベル廃棄物を含む溶融ガラスを滴下・付着させる実験を行い、材質、温度、表面粗さ等の因子がガラスの付着挙動にどのように影響を及ぼすのかを調べた結果、以下のことが明らかになった。

1. SUS304L, SUS309S及びインコネル600試験片においては、試験片予熱温度が400℃を越えるとガラスの付着が生じ、その付着量はガラス転移温度を越えると急激に増加した。更にガラス付着率は予熱温度が増すにつれて増加する傾向を示していた。
2. チタン試験片においては、予熱温度にかかわらず、ガラス付着率は小さく0.1wt%以下であった。
3. SUS304L及びインコネル600試験片に塩酸による表面処理をした場合、チタン試験片と同様、予熱温度にかかわらずガラスの付着はほとんど起きなかった。
4. ガラス付着率は試験片の表面粗さと無関係であった。

謝 辞

本実験に際し多大の便宜を図られたホット試験室WASTE F課の吉川静雄氏及び坪井孝志氏に感謝の意を表します。本論文の作成にあたって、貴重な議論と助言をしてくださった環境安全研究部人工バリア研究室の三田村久吉氏、ホット試験室菊地章WASTE F課長に感謝します。

参 考 文 献

- (1) Tsunetaka Banba, Hideo Kimura, Hiroshi Kamizono and Shingo Tashiro, "Simulated HLLW Composition for Cold Test of Waste Management Development", JAERI-M 82-088 (1982)
- (2) Hiroshi Kamizono, "Property of High-Level Waste Glass. I: Thermal Shock Resistance", J. Nucl. Mater., 132, 92(1985)
- (3) 桐山雄二, 降矢 喬, 加藤 修, 妹尾宗明, 馬場恒孝, 三田村久吉, 石橋寛治郎, 岡本雅道, 田代晋吾, 荒木邦夫, 天野 恕, "各国における高レベル廃棄物固化処理用ホウケイ酸ガラスの物性比較評価", JAERI-M 8915(1980)
- (4) 池田 豊, "ガラスと金属の封着の機構", 窯業協会誌, 72, 29(1964)
- (5) 鮫島幸治, 西山雅男, "ガラス対金属封止における接着機構", 窯業協会誌, 74, 301(1966)
- (6) 野牧耕二, "ガラス, セラミックスと金属の接着", セラミックス, 15, 411(1980)

4. 結 言

キャニスタ材として考えられている金属試験片表面に模擬高レベル廃棄物を含む溶融ガラスを滴下・付着させる実験を行い、材質、温度、表面粗さ等の因子がガラスの付着挙動にどのように影響を及ぼすのかを調べた結果、以下のことが明らかになった。

1. SUS304L, SUS309S及びインコネル600試験片においては、試験片予熱温度が400°Cを越えるとガラスの付着が生じ、その付着量はガラス転移温度を越えると急激に増加した。更にガラス付着率は予熱温度が増すにつれて増加する傾向を示していた。
2. チタン試験片においては、予熱温度にかかわらず、ガラス付着率は小さく0.1wt%以下であった。
3. SUS304L及びインコネル600試験片に塩酸による表面処理をした場合、チタン試験片と同様、予熱温度にかかわらずガラスの付着はほとんど起きなかった。
4. ガラス付着率は試験片の表面粗さと無関係であった。

謝 辞

本実験に際し多大の便宜を図られたホット試験室WASTE F課の吉川静雄氏及び坪井孝志氏に感謝の意を表します。本論文の作成にあたって、貴重な議論と助言をしてくださった環境安全研究部人工バリア研究室の三田村久吉氏、ホット試験室菊地章WASTE F課長に感謝します。

参 考 文 献

- (1) Tsunetaka Banba, Hideo Kimura, Hiroshi Kamizono and Shingo Tashiro, "Simulated HLLW Composition for Cold Test of Waste Management Development", JAERI-M 82-088 (1982)
- (2) Hiroshi Kamizono, "Property of High-Level Waste Glass, I: Thermal Shock Resistance", J. Nucl. Mater., 132, 92(1985)
- (3) 桐山雄二, 降矢 喬, 加藤 修, 妹尾宗明, 馬場恒孝, 三田村久吉, 石橋寛治郎, 岡本雅道, 田代晋吾, 荒木邦夫, 天野 恕, "各国における高レベル廃棄物固化処理用ホウケイ酸ガラスの物性比較評価", JAERI-M 8915(1980)
- (4) 池田 豊, "ガラスと金属の封着の機構", 窯業協会誌, 72, 29(1964)
- (5) 鮫島幸治, 西山雅男, "ガラス対金属封止における接着機構", 窯業協会誌, 74, 301(1966)
- (6) 野牧耕二, "ガラス, セラミックスと金属の接着", セラミックス, 15, 411(1980)

4. 結 言

キャニスタ材として考えられている金属試験片表面に模擬高レベル廃棄物を含む溶融ガラスを滴下・付着させる実験を行い、材質、温度、表面粗さ等の因子がガラスの付着挙動にどのように影響を及ぼすのかを調べた結果、以下のことが明らかになった。

1. SUS304L, SUS309S及びインコネル600試験片においては、試験片予熱温度が400℃を越えるとガラスの付着が生じ、その付着量はガラス転移温度を越えると急激に増加した。更にガラス付着率は予熱温度が増すにつれて増加する傾向を示していた。
2. チタン試験片においては、予熱温度にかかわらず、ガラス付着率は小さく0.1wt%以下であった。
3. SUS304L及びインコネル600試験片に塩酸による表面処理をした場合、チタン試験片と同様、予熱温度にかかわらずガラスの付着はほとんど起きなかった。
4. ガラス付着率は試験片の表面粗さと無関係であった。

謝 辞

本実験に際し多大の便宜を図られたホット試験室WASTE F課の吉川静雄氏及び坪井孝志氏に感謝の意を表します。本論文の作成にあたって、貴重な議論と助言をしてくださった環境安全研究部人工バリア研究室の三田村久吉氏、ホット試験室菊地章WASTE F課長に感謝します。

参 考 文 献

- (1) Tsunetaka Banba, Hideo Kimura, Hiroshi Kamizono and Shingo Tashiro, "Simulated HLLW Composition for Cold Test of Waste Management Development", JAERI-M 82-088 (1982)
- (2) Hiroshi Kamizono, "Property of High-Level Waste Glass. I: Thermal Shock Resistance", J. Nucl. Mater., 132, 92(1985)
- (3) 桐山雄二, 降矢 喬, 加藤 修, 妹尾宗明, 馬場恒孝, 三田村久吉, 石橋寛治郎, 岡本雅道, 田代晋吾, 荒木邦夫, 天野 恕, "各国における高レベル廃棄物固化処理用ホウケイ酸ガラスの物性比較評価", JAERI-M 8915(1980)
- (4) 池田 豊, "ガラスと金属の封着の機構", 窯業協会誌, 72, 29(1964)
- (5) 鮫島幸治, 西山雅男, "ガラス対金属封止における接着機構", 窯業協会誌, 74, 301(1966)
- (6) 野牧耕二, "ガラス, セラミックスと金属の接着", セラミックス, 15, 411(1980)

Table 1 Composition of simulated high-level waste glass

Component	wt%	Component	wt%
Additives			
SiO ₂	48.49	Na ₂ O	11.30
B ₂ O ₃	18.58	CaO	1.87
Al ₂ O ₃	2.00	Fe ₂ O ₃	2.96
Li ₂ O	1.87	ZrO ₂	1.22
Simulated high-level waste			
Rb ₂ O	0.12	BaO	0.63
SrO	0.34	La ₂ O ₃	0.51
Y ₂ O ₃	0.20	CeO ₂	1.42
ZrO ₂	1.65	Pr ₆ O ₁₁	0.50
MoO ₃	1.74	Nd ₂ O ₃	1.65
MnO ₂	0.26	Sm ₂ O ₃	0.33
Fe ₂ O ₃	0.59	Ag ₂ O	0.03
CoO	0.12	CdO	0.03
NiO	0.33	SnO ₂	0.02
TeO ₂	0.23	Sb ₂ O ₃	0.004
Cs ₂ O	0.98	Gd ₂ O ₃	0.04

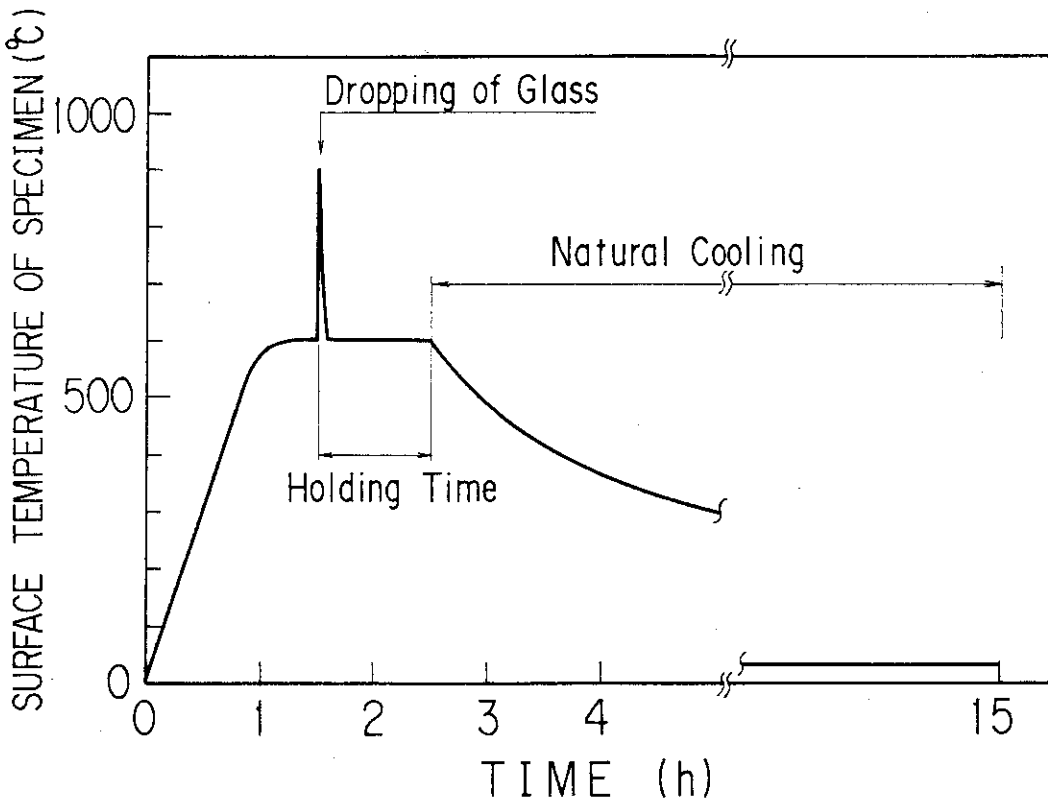


Fig. 1 Change in surface temperature of the specimen

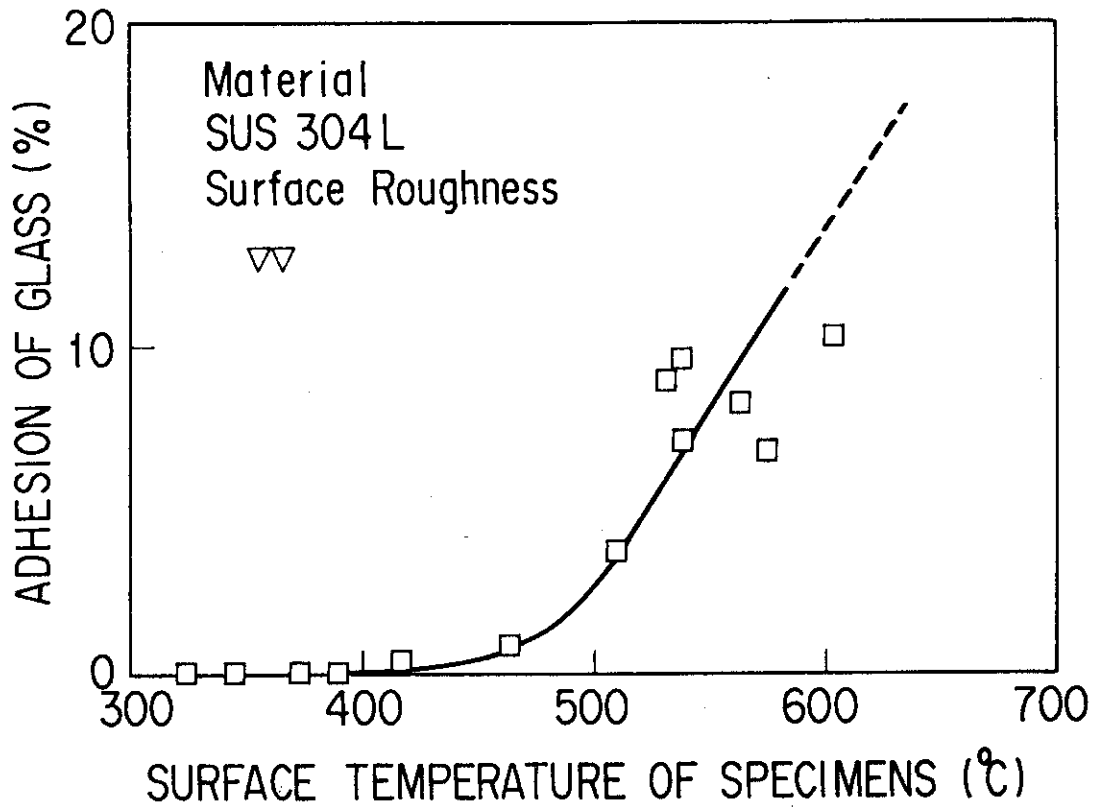


Fig. 2 Influence of surface temperature on adhesion of the glass to the specimen

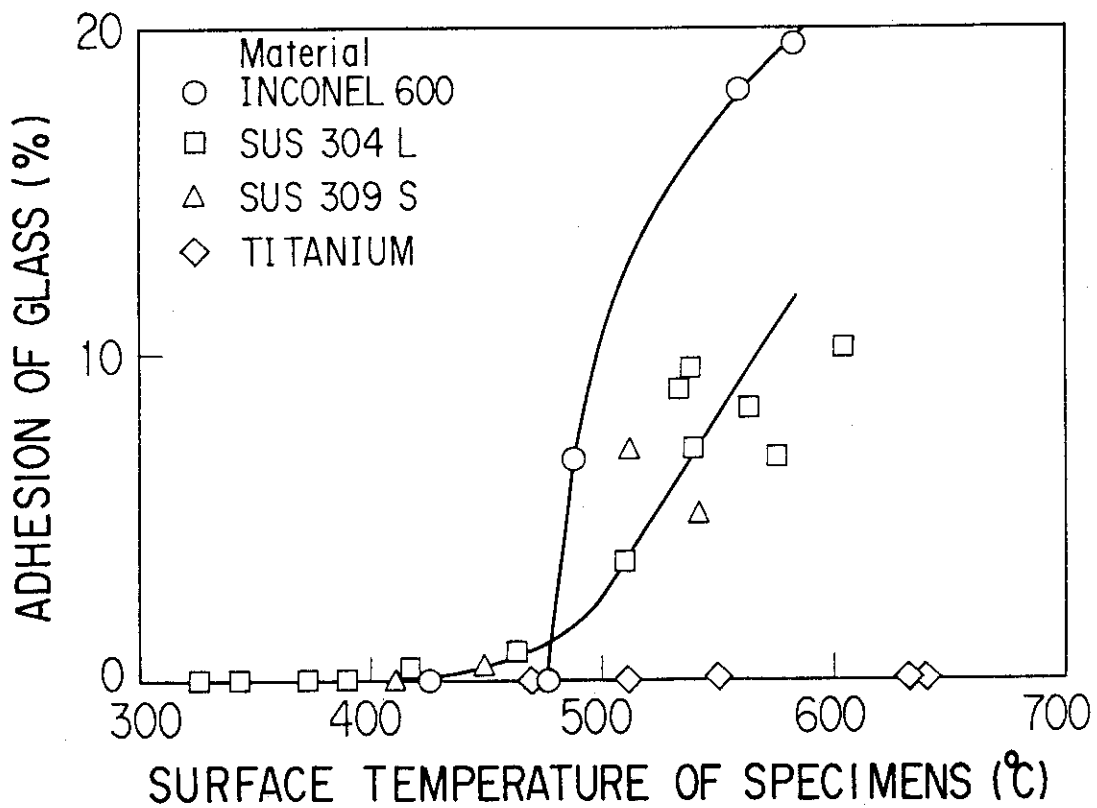


Fig. 3 Influence of materials on adhesion of the glass to the specimen

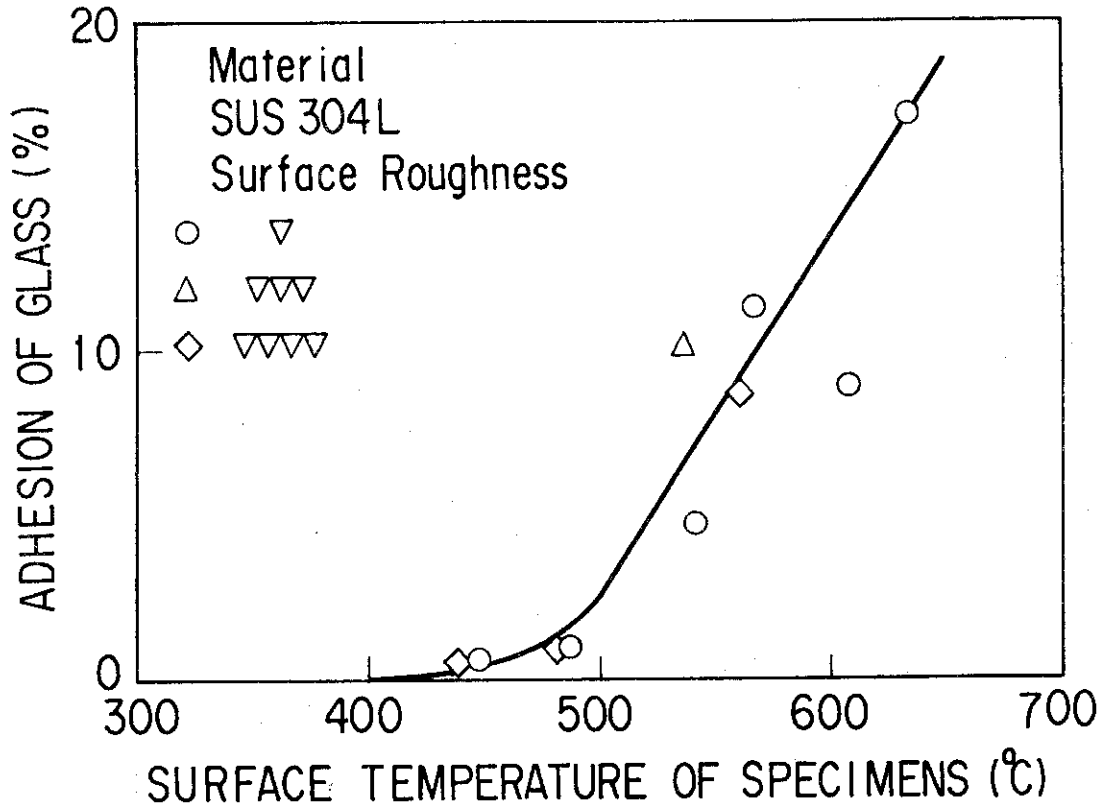


Fig. 4 Influence of surface roughness on adhesion of the glass to the specimen

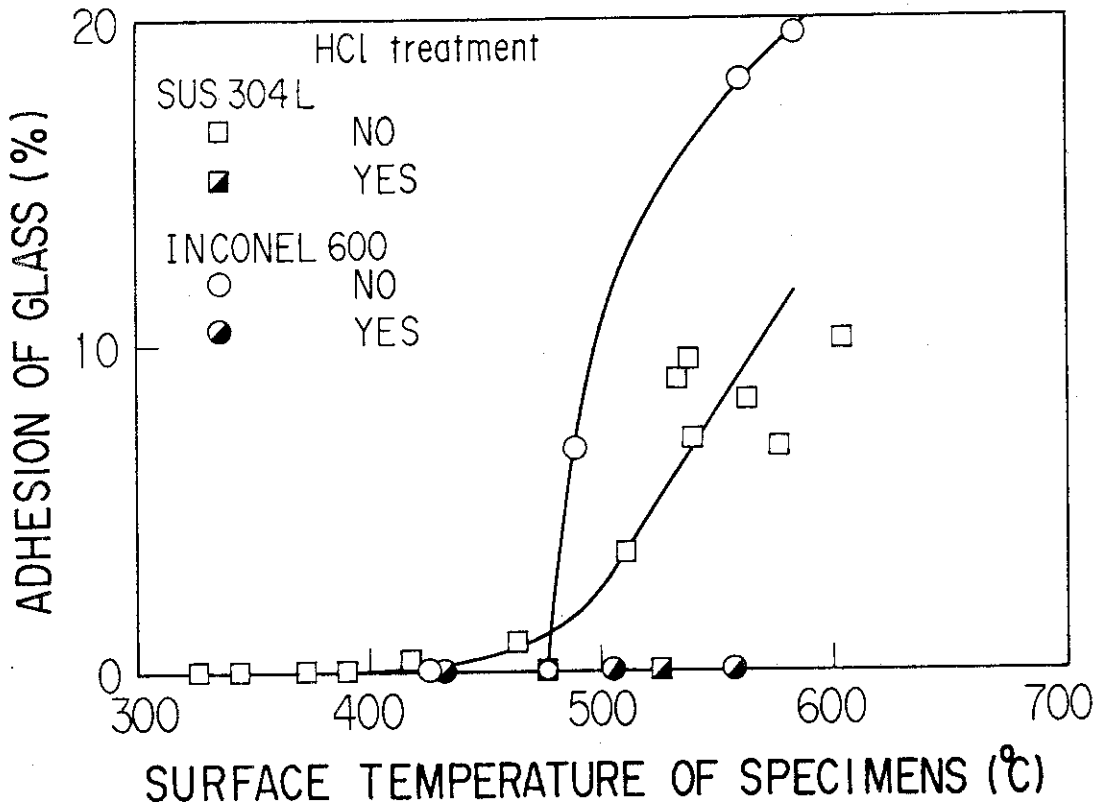


Fig. 5 Effect of surface treatment on adhesion of the glass to the specimen

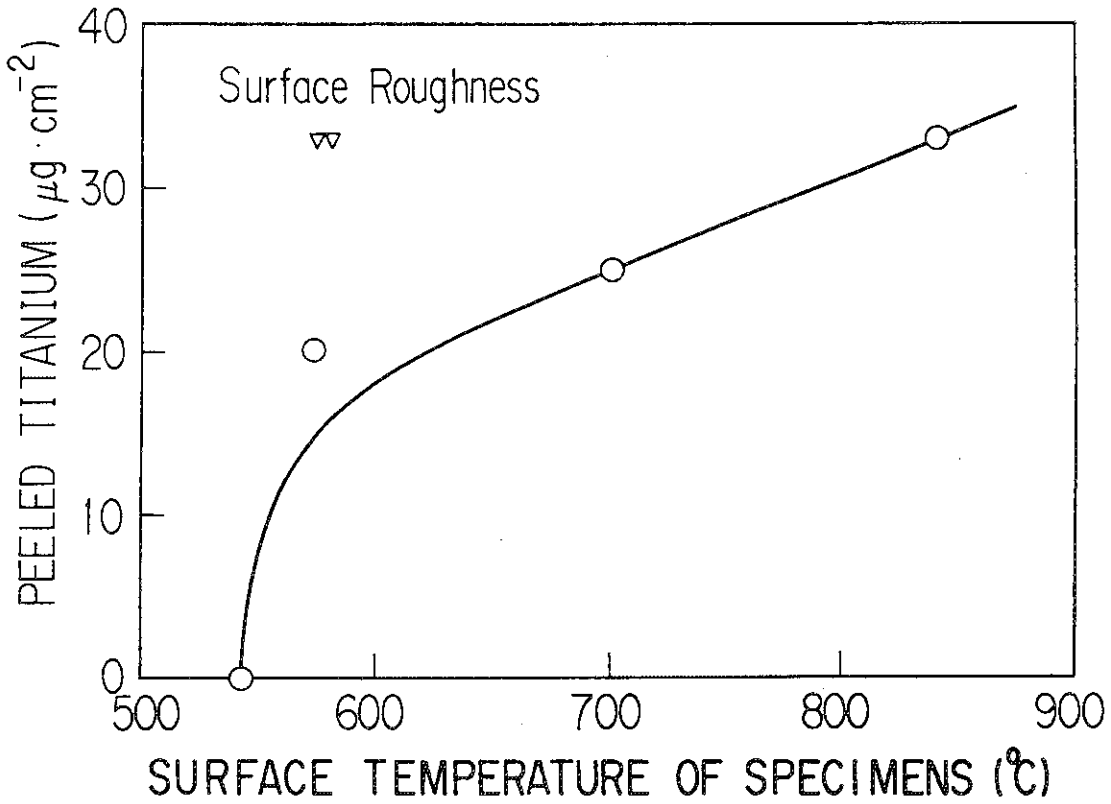


Fig. 6 Amounts of the titanium peeled together with the glass

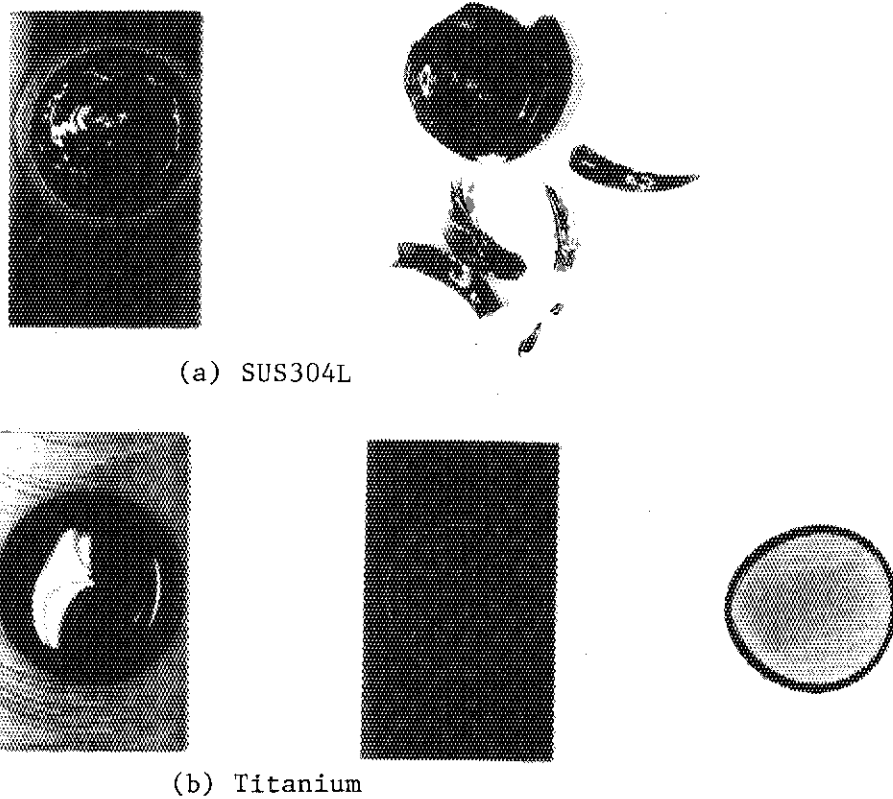


Photo. 1 Photographs of the glass and the specimen after natural cooling