

第24回衛星設計コンテスト

アイデア概要説明書

1. 作品情報・応募者情報

作品名（20文字以内） 宇宙でのメンテナンス及びデブリの3R計画			
作品名 副題 ～工業高校の実習を活かした僕らのISS工場～			
	氏名（フリガナ）	学校名、学科	学年
代表者（正）	小林 竜貴（コバヤシ タツキ）	新潟県立新津工業高等学校 ロボット工学科	3年
代表者（副）	神代 優太（カシラ ユウタ）	新潟県立新津工業高等学校 ロボット工学科	3年
メンバ1	石本 卓也（イシモト タカヤ）	新潟県立新津工業高等学校 ロボット工学科	3年
メンバ2	石田 魁音（イシダ ケイノ）	新潟県立新津工業高等学校 ロボット工学科	2年
メンバ3	佐藤 利樹（サウ トキ）	新潟県立新津工業高等学校 ロボット工学科	2年

2. アイデアの概要

<p>宇宙ステーション（以下ISS）において、ISSの中の一部を工場化して工業高校で学ぶ実習（溶接、塗装、鋳造）を通して、宇宙機の修理とメンテナンスを行い宇宙デブリの発生を抑制し、また、運用が終わった宇宙機をリサイクルして新たな宇宙機の材料にする。その実習を行う上で起こる問題点をあげ、その解決方法を提案する。</p>

3. 目的と意義（目的・重要性・技術的意義等）

<p>(a) 目的</p> <p>宇宙の利用が進む中で、宇宙デブリの問題が深刻化している。地上においては、ゴミの対策として3R（発生抑制 reduce、再使用 reuse、再生利用 recycle）が実行されている。本研究は、宇宙デブリの3Rを実現し、宇宙デブリの問題を解決することを目的とする。その目的を達成するために、以下のミッションを順に計画、実施する。</p> <ul style="list-style-type: none">○ミッション1：宇宙機を定期的にメンテナンスして使用期間を長くする。そしてデブリの衝突などにより故障した宇宙機を宇宙で修理する。さらに中古の宇宙機に新しい機能を追加して再び使用する。(Reduce) (Reuse)○ミッション2：運用が終わった宇宙機を、リサイクル工場で再資源化を行う。(Recycle)○ミッション3：リサイクル材料を使って、宇宙機の部材とする。 <p>(b) 重要性・技術的意義等</p> <p>現在、宇宙デブリの問題が深刻化している。今後の多くの衛星打ち上げが進む中で、硬く質量の大きい金属性のデブリが衛星に衝突すれば被害は大きい。そして、宇宙での人間活動にも影響を与える危険性がある。宇宙デブリを増加させないこと、運用が終わった宇宙機を再利用することが益々重要になっていくと考えられる。また、宇宙で使用する物・必要な物を修理・製作できれば、地上からそれらを運搬するための費用の削減と時間短縮となり、致命的なトラブルに対する準備ともなる。</p>

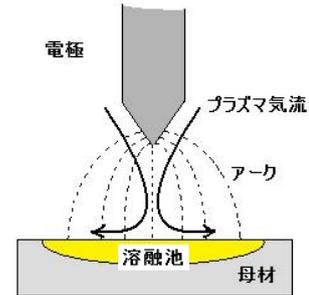
4. アイデアの概要

本研究は、目的であげた各ミッションを実現するための研究である。デブリの衝突で壊れた部分を溶接で修理する方法およびデブリ防護壁の経年劣化を防ぐために表面を塗装する方法を考察した。また、金属材料のリサイクル技術として、アルミニウム合金の溶解と鋳造を取り上げる。

私たちの工業高校では、溶接・塗装・鋳造についての実習を行っているが、これらはすべて重力のある地上での技術である。次に、宇宙環境下で実習するうえで発生する問題点をあげ、その解決方法を提案する。

(1) アルミニウム合金の溶接

様々な産業分野で広範囲に使用されている溶接法は、アーク熱を利用して母材を溶融するアーク溶接である。地上において溶接作業を行う姿勢は、下向きだけでなく、水平方向、垂直方向そして上向きでもすべての溶接姿勢に対応することが可能である。アーク柱内部で発生するプラズマ気流と呼ばれる電極から母材に向かう高速のガス気流（プラズマ気流）がある。上向溶接や横向溶接などにおいて、重力の作用にもかかわらず溶接できるのはプラズマ気流が存在するためである。したがって、無重力下においてもアーク溶接は可能であると考えられる。



溶接におけるプラズマ気流の作用

アルミニウムおよびアルミニウム合金の溶接として、TIG 溶接が一般的である。TIG 溶接は、空気中の窒素や酸素から溶融金属を保護するためにシールドガスとしてアルゴンなどの不活性ガスを用い、高融点金属であるタングステンまたはタングステン合金を非溶融式電極として用いるアーク溶接法のひとつである。ISS 内においては、TIG 溶接法を用いてアルミニウム合金の部材を溶接することを提案する。（詳細は資料参照）

また、ISS の船外においては、TIG 溶接法の原理に着目した宇宙 GHTA (Gas Hollow Tungsten Arc) 溶接法がすでに日本において研究が進められている。ISS 外の宇宙ではプラズマとなるガスがないため、アークが発生しない。そこで中空タングステン電極を使用し、中空の部分からアルゴンガスを少しずつ供給しプラズマを生成する方法である。したがって、ISS 内で使う TIG 溶接装置の電極部のみを GHTA 用の電極に変更することによって、ISS 外における溶接に対応できると考えられる。（詳細は資料参照）

問題点・・・ISS 内での溶接時に、高温で蒸発した金属が周囲の大気中で冷却され、微細な粉塵となる。これを溶接ヒュームといい、人体や ISS に悪い影響を与える。

解決方法・・・換気装置でヒュームを吸引して、フィルタで除去する。

(2) 塗装

塗装加工は、被塗物への表面保護と美装そして機能性の付与という3つの役割を持っている。宇宙機の表面を塗装することによって、微小なデブリの衝突から表面を保護し、断熱効果などの機能を与えることも可能である。塗装は濡れの現象を利用しているため無重力環境でも可能と考える。

問題点①・・・ISS 内では地上と同じような温度と気圧が一定に保たれ、通常の液体塗料を刷毛に付けて塗装できる。ただし、重力がある場合、塗料を缶などの容器に入れておき、簡単に刷毛に必要な分量だけ付けることができるが、無重力中ではこの方法では塗料が缶から出てしまい、刷毛に付けることも難しい。

解決方法・・・筆ペンのように、塗料を入れた容器と刷毛を一体化したものをを用いることを提案する。容器中の塗料がなくなったら、別の塗料の入った容器に交換する。(無重力用刷毛)

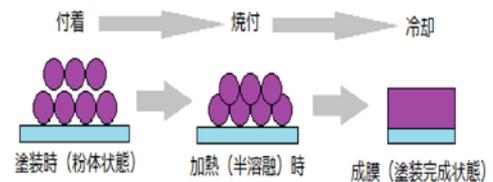
また塗料として JAXA が開発したガイナを用いる。

問題点②・・・ISS 外では、ISS 表面温度は-150～120℃と大きく変化し、さらに真空であるため液体塗料はすぐに蒸発し、または冷えて固体に変化するため液体塗料の扱いは難しい。塗装膜も不均一で性能も悪いと予想される。

解決方法・・・特に塗料として粉体を用い、これを静電気力によって付着させた後に高温で熔融して固定する方法(静電粉体塗装法、パウダーコート)で塗装を行う。



無重力用刷毛の構造



粉体塗装

(3) アルミニウム合金の溶解・鋳造

宇宙空間においては、太陽電池から得られる電気エネルギーを使って、金属を溶解するのが適当と考える。材料となるアルミニウム合金を電気炉に入れて、ジュール熱によって溶解させる。アルミニウム合金の溶解温度は 670～760℃程度と低く溶解しやすく、鋳造加工にも適した金属材料である。

問題点①・・・無重力においては、砂型や金型に、鋳型に溶解した材料を注いで鋳込むことができない。

解決方法・・・重力以外の力で、鋳型に溶解した材料を鋳込む。

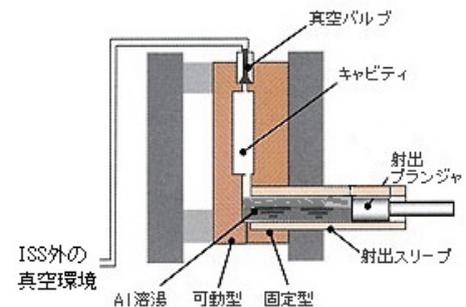
ア 遠心力を利用する(遠心鋳造法)

イ 密閉された電気炉内の溶解した材料に圧力をかけて、鋳型に押し込む。(ダイカスト法・低圧鋳造法・高圧鋳造法)

ウ 真空中で溶解した材料を、真空にした鋳型に材料を鋳込む(真空鋳造法)

問題点②・・・鋳物の不具合のひとつとして、溶解金属中にガスが残り、空洞をつくる問題がある。無重力においては浮力がないため、ガスが残存して、空洞ができやすい。

解決方法・・・金属が高温の液体状態のときにガスを吸収しやすい。また、鋳込みの作業中にガスの巻き込みや反応ガスの発生が起こる。したがって、ISS 外の真空環境を利用して金属を溶解し鋳込むことが可能であるため、真空鋳造法を用いる。



宇宙の真空を利用した鋳造

5. 得られる成果

宇宙機をできるだけ長く使用できるためのメンテナンス技術を確認することができれば、宇宙デブリの発生を抑制することができる。そして運用が終了した宇宙機をリサイクルして新たな宇宙機の材料にすることができれば、宇宙デブリを減少させることができる。

6. 主張したい独創性または社会的な効果

本研究は、工業高校で学んでいる一般的な知識と技術を応用して、宇宙デブリの問題を、3R (Reduce、Reuse、Recycle)を実践し解決しようという提案である。宇宙の開発利用において、同時並行して宇宙デブリの問題を解決していかなければ、問題が深刻化してしまう。よって、この提案は持続的な宇宙開発を進めていく今後の社会に効果があると考えられる。

参考資料

(1) 宇宙での溶接について

アルミニウム合金の溶接を ISS 内の無重力下においては、TIG 溶接法で行う。

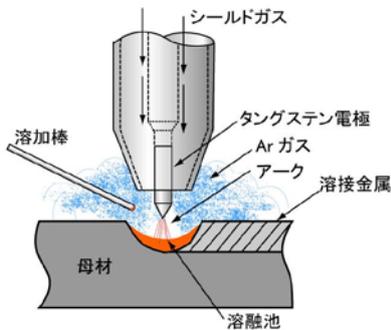


図1 TIG 溶接法

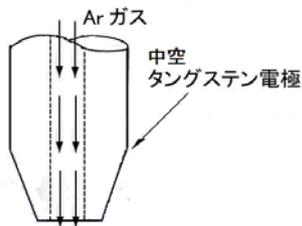


図2 宇宙 GHTA 溶接用の電極

TIG 溶接法とは、空気中の窒素や酸素から溶融金属を保護するためにシールドガスとしてアルゴンなどの不活性ガスを用い、高融点金属であるタングステンまたはタングステン合金を非溶融式電極として用いるアーク溶接法のひとつである。アルミニウムやアルミニウム合金の溶接によく利用されている。(図1 参照)

ISS 外の無重力真空の環境においては、宇宙 GHTA 溶接法を用いる。

宇宙 GHTA (Gas Hollow Tungsten Arc) 溶接法とは、高松工業高等専門学校の吹田 義一氏らが提案し、開発を進めている溶接方法である。ISS 外の宇宙ではプラズマとなるガスがないため、アークが発生しない。そこで中空タングステン電極を使用し、中空の部分からアルゴンガスを少しずつ供給しプラズマを生成する方法である。図2に電極部の構造を示す。基本的には TIG 溶接の装置の電極部のみを変更すればよい。また、アルゴンガスの使用目的がシールドではなく、プラズマを生成するためである。

下の写真は、厚さ 5 mm のアルミ合金に直径 3 mm と 6 mm ドリルで貫通した穴を、地上の重力環境で TIG 溶接を用いて塞いだ様子である。



写真1 アルミ合金板の貫通穴を TIG 溶接で塞いだ様子

宇宙デブリの衝突で、ISS の「きぼう」の与圧壁(厚さ 4.8 mm)に穴が貫通してしまった事故を想定している。

写真で示すように、溶接により穴を塞ぐことは可能である。ただし、写真の左にあるように、穴を薄板(厚さ 2 mm)で覆う方法は、熱を薄板が吸収して母材より先に溶けてしまい、うまく溶接できなかった。

(2) 宇宙での塗装について

ISS 内において、筆ペンのしくみを応用した「無重力用刷毛」を使って塗装することを提案する。



図3 無重力用刷毛

「無重力用刷毛」の構造を図3に示す。

筆ペンのように、塗料を入れた容器と刷毛を一体化した構造をもつ。容器中の塗料がなくなったら、別の塗料の入った容器に交換する。このカートリッジ容器は柔軟で、人間が握るとカートリッジは変形し、その力に応じて塗料が刷毛に押し出される。この構造であれば、無重力中でも塗料を必要な量だけ取り出すことができる。

具体的な塗料として、JAXA が開発したガイナがある。ガイナは「断熱・遮熱」、「耐久」「不燃」など多機能効果を持つ。特別な工具を必要とせず、刷毛、ローラー、こて、ガンなどあらゆる

工具で仕上げることができる。接着性に優れ、室温でも硬化するため、固めるための設備も不要である。また、水溶性であるため、有機溶剤を使用せず人体にも優しく、ISS 内の作業に適している塗装材料である。ガイナの中には微細なセラミック空中ピースが含まれており、最初に塗布したときには様々なピースが混在しているが、乾燥するにしたがって毛細管現象により表面に小さなセラミックピースが集まり、反射膜を形成する。毛細管現象は無重力中でも起こるため、ISS 内で塗装した場合でも、同様の反射膜が形成されると考えられる。

参考文献等

- ・実教出版 機械工作 1
- ・吹田, 佃, 高木, 黄地, 増淵: 宇宙空間でGHTA 溶接に関する研究 (第1 報) 11 巻, 3号 (1993)
- ・菅野照造 編著 機能塗料 日刊工業新聞社
- ・「JAXA COSMODE PROJECT」 <http://aerospacebiz.jaxa.jp/cosmode.html>