

材料工学特論

森田辰郎

第1章 本講義の意義と目的

1.1 材料の変遷

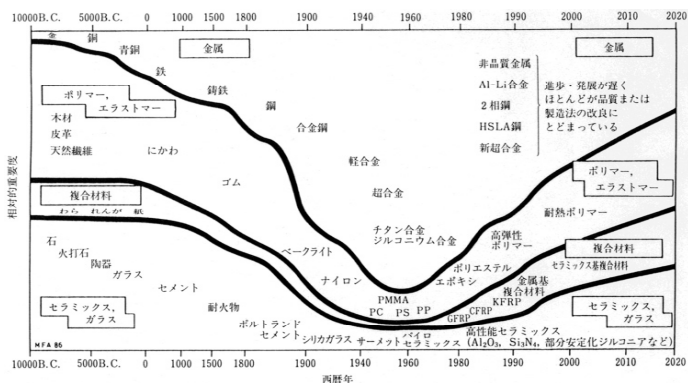


図1.1 材料の変遷⁽¹⁾

- 20世紀: “金属の時代”
- 21世紀: 金属全体の相対的重要性は低下(予測)

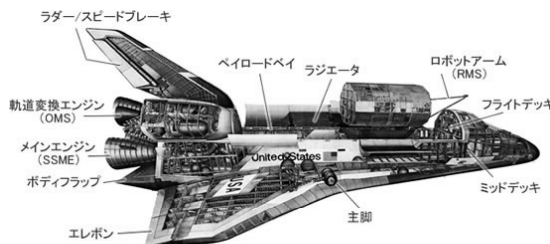


図1.2 スペースシャトル(オービター)⁽²⁾

- ラダー、ボディーフラップ、エレポン、主脚格納ドア等：炭素繊維/ポリイミド
- 翼前縁パネル：C/Cコンポジット
- 胴体支柱：ケブラー/エポキシ樹脂
- 翼前縁内部構造：チタン合金
- 後部スラスト構造：チタン合金(ボロン繊維/エポキシ樹脂補強)
- 圧力容器：チタン合金(ケブラー/エポキシ樹脂補強)

- 軽量化重視の製品(航空宇宙産業)：複合材料等の使用増大
- 重要構造物等：金属



図1.3 エアバスA380⁽³⁾

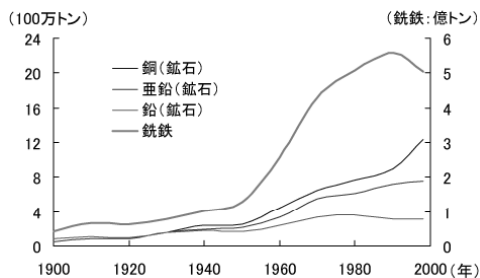


図1.4 世界の金属生産量推移⁽⁴⁾

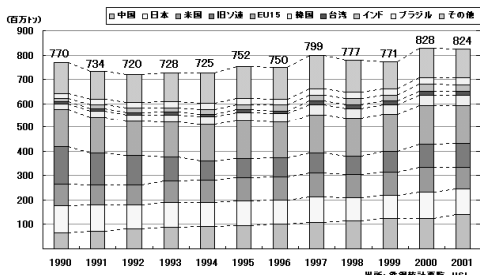


図1.5 世界の粗鋼生産量推移⁽⁵⁾

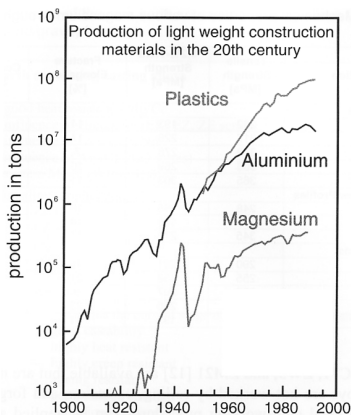
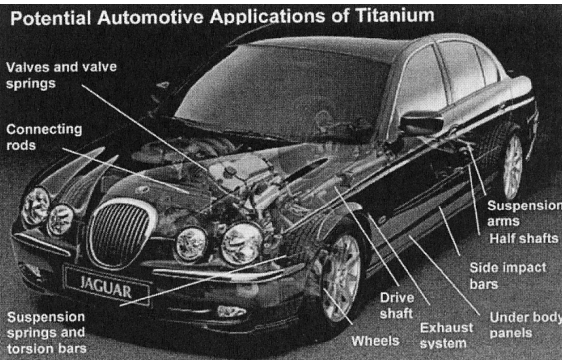


図1.6 軽金属、プラスチックの生産量推移⁽⁶⁾

- 鉄鋼材料：頭打ち傾向
- 軽金属：増加傾向
- 鉄鋼材料から軽金属へのシフト



高比強度材の使用

- フレーム：アルミ
- エンジン関係：チタン
- 外板等：FRP

↓
軽量化による
燃費・性能向上

↓
なぜ使用されないのか？

図1.7 鉄鋼材料との代替検討案(チタン)⁽⁷⁾

鉄鋼材料の長所

- 信頼性・安全性：研究・技術の蓄積
- バランス：剛性，強度，延性，加工性
- 多様性：耐食性材料から高温材料まで
- コスト：素材，加工性等

鉄鋼材料の短所

- 比重大：すなわち「重い」

工業用材料の大まかな価格

● 鉄	375～	525 US\$/ton
● アルミ	1,365～	1,800 US\$/ton
● チタン合金	24,000～	36,000 US\$/ton
● GFRP	1,950～	4,500 US\$/ton
● CFRP	52,500～	120,000 US\$/ton

- 主な支配要因：コスト
値段が4倍(アルミ製)の
車をあなたは買います
か？
—私は買えません(森田).

まとめ

- 21世紀において，金属材料の重要性は相対的に低下し，ますますプラスチック，セラミックス，複合材料の使用量が增大すると予測される。
- 金属材料については，鉄鋼から軽金属への代替が進行し，軽金属の使用量が增大すると予想される。
- 非鉄金属や複合材料の革命的な価格低下が生じない限り，鉄鋼材料の急激な使用量低下は考えられない。

参考文献

- (1) M.F.Ashby著，金子・大塚訳，機械設計のための材料選定，内田老鶴圃，(1997)。
- (2) [http://iss.sfo.jaxa.jp/\(JAXA\)](http://iss.sfo.jaxa.jp/(JAXA))
- (3) http://www.airbus.com/dynamic/about/index_h.asp(エアバス社)
- (4) 平成12年版科学技術白書。
- (5) 生産統計総覧，IISI。
- (6) Edited by K.U.Kaniner, Magnesium-Alloys and Technology, Wiley-VCH, (2003)。
- (7) G.Lutjering & J.C.Williams, Titanium, Springer, (2003)。

1.2 製品設計時の工学的思考



優れた工業製品を作ろう！
(意欲の発現, 着想)

自分なりにやってみる
(問題解決の努力)

解決できない!!
(知識習得, 能力の向上)

製品の完成
(成果)

図1.8 工業製品の設計

機能の充足

- 製品・部品の形状決定
- 素材の力学的性質
- 負荷形態

コスト

- 人件費
- 材料費, 加工費
- 副次的コスト(ランニングコスト, 維持費, 修理費など)

安全性・信頼性

- 事故・故障の防止(十分な強度, 定期診断など)
- 技術者・会社の工学的倫理観

1.2.1 機能の充足

材料が安いので、鉄鋼材料だけで戦闘機を作る。



図1.9 機能の充足

結果: 重くて飛ばないか, 運動性能が悪くて打ち落とされる。

対策1: 軽くて強い材料(アルミ, チタン, 複合材料)を使う。

対策2: 鉄鋼を強化する(同じ強度でも軽くてすむ)。

対策3: 軽くて強い構造にする(ハニカム構造など)。

対策4: エンジン出力を上げる。

要点: コストだけを考えても, 機能が損なわれては意味がない。

1.2.2 コスト

性能向上のため、軽くて強い高級材料だけで旅客機を作る。



図1.10 コスト

結果

エンジンが小さくて済むので燃費が向上する。しかし、高く買えない。

対策

燃費の向上や飛行場使用料軽減で得をする分と機体価格の上昇で損をする分のバランスを考える。

要点：性能だけを追求しても、工業製品は売れなければ意味がない。

1.2.3 安全性・信頼性

時間がないので、手順を簡略化してトンネルを作る。

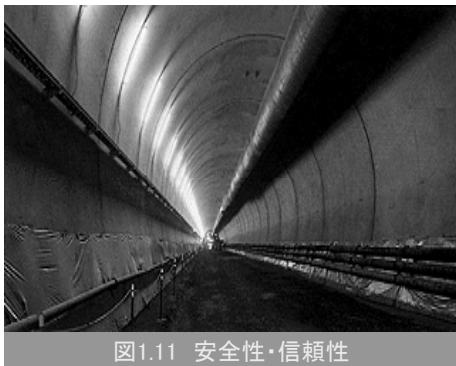


図1.11 安全性・信頼性

結果

早期に完成するが、保守に莫大な費用が必要になったり、事故が起これば信用を著しく損なう。

対策

十分にリスクを考慮する。

要点：事故や故障が起これないうちは安全保証のために費やされたコストは無駄と見られるが、一旦事故や故障が生ずれば莫大な費用が必要となるばかりでなく、社会的責任が発生する。可能な限りリスクを低減する努力が必要である。

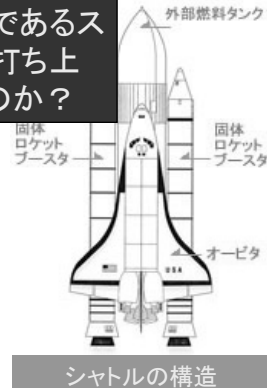
1.3 事故事例(チャレンジャー号事故)



アトランティス号

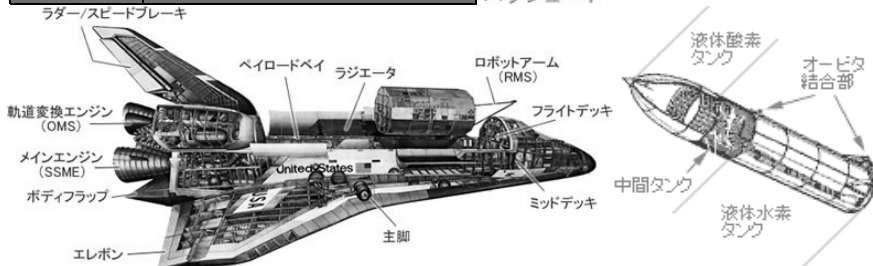
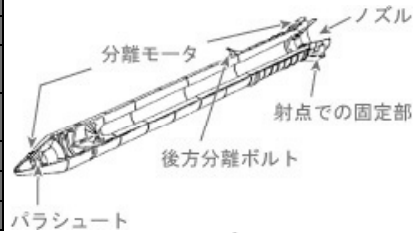
1986年1月28日11:38AM, ケネディ宇宙センターから打ち上げられたチャレンジャー号が, 打ち上げ後に爆発. 乗員7人全員が死亡.

なぜ人間の英知の結晶であるスペースシャトルにおいて打ち上げ時に事故が発生したのか?



シャトルの構造

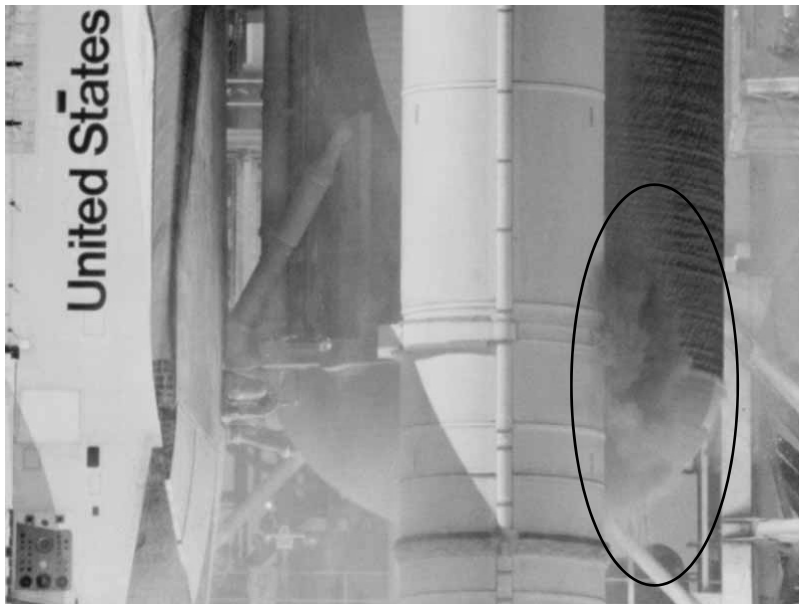
オービタ名	概要
パスファインダー	1977年に地上試験用に開発
エンタープライズ	1976年に滑空着陸試験用として開発
コロンビア	STS-1で初飛行 2003年2月1日、帰還時に空中分解で喪失
チャレンジャー	STS-6で初飛行 1986年1月28日、チャレンジャー事故にて喪失
ディスカバリー	STS-41Dで初飛行 現在使用可能
アトランティス	STS-51Jで初飛行 現在使用可能
エンデバー	STS-49で初飛行 現在使用可能



スペースシャトルの各部位とオービター一覧

当日の状況

- フロリダは異常な寒波に襲われており、機体の点検などのため、予定より2時間遅れで打ち上げ.
- 発射66.2秒後： 右側ロケットブースタと燃料タンクの接合部分が破損して炎が発生.
- 発射72秒後： ロケットブースタと外部燃料タンク間の結合がはずれて機体が激しく振動.
- 発射73.2秒後： ロケットブースタが外部燃料タンク前部の液体酸素タンクと衝突、大爆発.



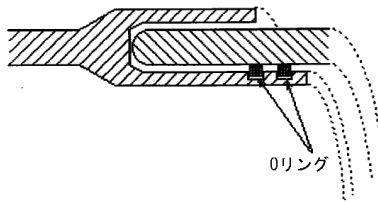


爆発直後の映像ではシャトルオービターのクルーコンパートメントは破損を免れている。実際、海中から回収することに成功した。

遺体の司法解剖の結果、死因は海面へ叩きつけられたことによる激突死と判明。このためクルーの一部はクルーコンパートメントごと海中に墜落するまで生存、意識もあったのではないかと見られている。後の改修ではクルーの緊急脱出についても考慮された。

設計

- 直接原因：右側ロケットブースタの継目からの燃焼ガスの漏れ
- シャトル設計当時、米国は大不況下にあり、NASAの予算は切迫していた。
- 回収して再利用することでコストを削減するため、シャトルは4つの部分を組み合わせた複雑な構造となった。



- ロケットブースタを設計・製造したサイオコール社は、コスト削減のため、ロケットブースタを4つのパーツをつなぎ合わせる構造とした。
- 衝撃などにより歪んで隙間が生じる可能性があるため、パーツ間の継目部分には合成ゴム製のOリングがはめ込まれ、常に隙間を塞ぐようにしてあった。
- 使用した合成ゴムは低温で固くなり、シール効果を失う欠点があった。
- 事故当日、継目部分の温度は -0.6°C に達していた。



発射許可

- NASA: チャレンジャー号打ち上げ前日、ブースタ製造元であるサイオコール社に打ち上げの可否を打診。
- サイオコール社: 技術者はOリングが低温で脆化する危険があることを指摘し、気温が上昇するまで打ち上げ延期を主張。
- NASA: 初の民間人搭乗で全米の注目が集まっていたにもかかわらず、チャレンジャー号はすでに悪天候のため2回打ち上げを延期していた。また、翌日に大統領の教書演説が控えていた。そのため、あえて再考を要求。
- サイオコール社: 経営上の判断によって打ち上げに同意。

事故の影響

- ハッブル望遠鏡の打ち上げが延期され、ハレー彗星の探査は中止された。
- 日本人宇宙飛行士の搭乗の時期が数年間延期。
- 代替機建造などの直接費だけで30億ドル以上の費用。
- 精神的側面: 当時、米国は大不況下にあった。そうした中で他国の追随を許さないと米国民が自負していたのが高度な技術に支えられた宇宙開発事業であり、シャトルはその象徴であった。しかも、チャレンジャー号には初の民間人である女性高校教師のマコーリフさんが搭乗して、宇宙から子供たちへ「宇宙授業」を行う予定であったため、打ち上げの模様をマコーリフさんの知人や多くの学生が見守っていた。その目の前でシャトルが爆発した。



フランシス・ディック・スコビー, クリスタ・マコーリフ, ロナルド・マクネイア,
マイケル・J・スミス, エリソン・オニツカ, ジュディス・レズニック, グレゴリー・ジャービス

1.4 授業の目的および進め方

目的: 金属, セラミックス, プラスチックスおよび複合材料などの各種工業材料について, 微視的構造と主要な特性の関係について基礎的事項を講述した後, 現実的な事例に関するケーススタディを行い, 各種材料の特徴を明確に把握する。

形態:

- プロジェクター使用, 配布プリント
- 最後10分程度を質問の時間に当てる

評価:

- 授業中のケーススタディに関するプレゼンテーションの成績および学期末レポートの成績による。

- 予定:**
- | | |
|--------|------------------------------|
| 1週 | 概要説明: 本講義の目的や概要, 実際の事故事例 |
| 2, 3週 | 材料の構造: 各種材料の微視的構造 |
| 4, 5週 | 弾性的性質: 各種材料の弾性的性質 |
| 7, 8週 | ケーススタディ1: 課題に対するプレゼンテーション・討論 |
| 9, 10週 | 材料の強度: 各種材料の強度 |
| 11-13週 | ケーススタディ2: 課題に対するプレゼンテーション・討論 |
| 14週 | まとめ |