



The First CMI Symposium

CMIの技術開発

東京大学生産技術研究所
先進ものづくりシステム連携研究センター

帯川 利之

2013年11月 12日

現在のCMIの技術開発

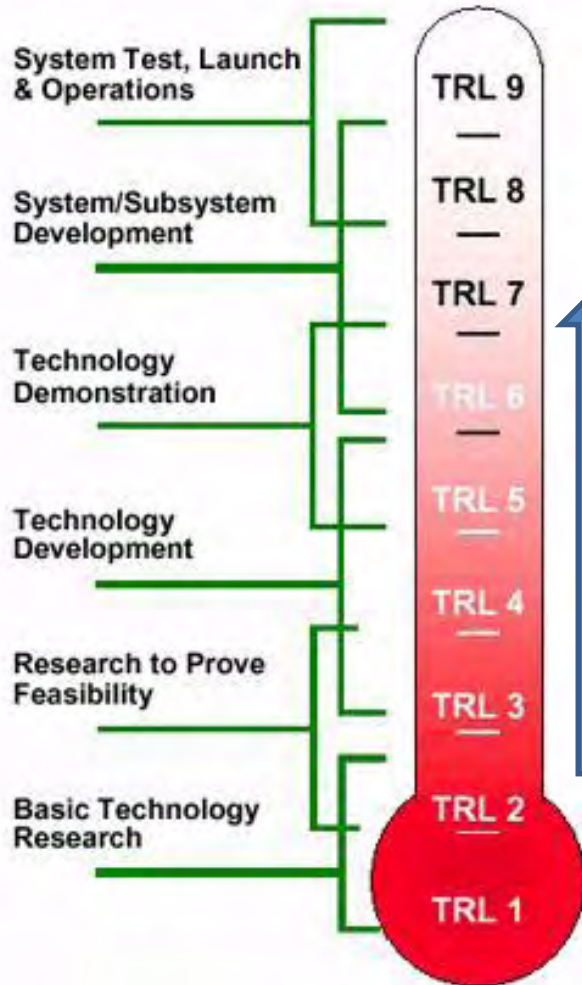
- ✓ 航空機製造技術
切削, 塑性加工, 接合, 組立, 修理, 検査, リサイクル
- ✓ 将来的には製造技術全般に

CMIの技術開発の特徴

- ・TRLの範囲が広い: 共通課題から個別課題まで
- ・TRL 3-5のコモン・ペインへの取り組みに重点
(産官学共同研究プロジェクトのレバレッジ効果)
- ・企業と大学の緊密な連携体制(多くの企業技術者の参加)
- ・コンペティターの共同参画
- ・科学的アプローチ(解析・シミュレーション)

通常の大学
研究

NASA Technology Readiness Level*



*http://en.wikipedia.org/wiki/Technology_readiness_level

Manufacturing Capability Readiness Level (MRCL)*

Program phase	MCRL	State of development
Phase 3 Production implementation	9	Fully production capable process qualified on full range of parts over extended period (all Business Case metrics achieved)
	8	Fully production capable (FAIR Stage 2) process qualified on full range of parts over significant run lengths
	7	Capability and rate confirmed (FAIR Stage 1 without concessions) via economic run lengths
Phase 2 Pre-production	6	Process optimized for capability and rate using production equipment
	5	Basic capability demonstrated using production equipment
Phase 1 Technology assessment and proving	4	Process validated in laboratory using representative development equipment
	3	Experimental proof of concept completed
	2	Applicability and validity of concept described and vetted or demonstrated
	1	Process concept proposed with scientific foundation

CMI

*<http://www.ailu.org.uk/assets/document/2010rmsra.pdf>を参照し帯川作成

航空機関連拠点 Boeing GlobalNet との比較

CMI: 航空機体製造の比較的広い技術領域をカバー
日本の3重工の共通課題中心＋Boeingの課題・関心

✓ Boeing GlobalNet*

Advanced Manufacturing Research Centre at the University of Sheffield, UK 2001-

Advanced Forming Research Centre at the University of Strathclyde, UK 2011-

Australian AMRC at Swinburne University of Technology, Melbourne. 2011-

Center for Aerospace Manufacturing Technology managed by the Missouri University of Science and Technology, USA.2004-

Composites Innovation Center in Manitoba, Canada.

Direct Manufacturing Research Center at the University of Paderborn, Germany. 2008-

Integrated Vehicle Health Management at Cranfield University, UK. 2008-

Manufacturing Research Center at the Georgia Institute of Technology, USA.

Science and Engineering Research Council of the Singapore Agency for Science, Technology and Research 2013-

IMAST the Technological District on Polymeric and Composite Materials Engineering and Structures, Italy.

ThermoPlastic Research Center at the University of Twente in the Netherlands. 2008-

CMIの技術開発の目標

- ✓ **高付加価値生産**
 - ・先進材料の高効率切削加工
 - ・複合材の高レート生産技術(加工・組立・修理)
 - ・短時間ロボスト検査技術
- ✓ **省資源・省エネルギー**
 - ・革新的成形加工(チタン合金の熱間塑性加工)
 - ・革新的接合加工
 - 切りくず除去量の最小化, 必要素材の最小化
- ✓ **環境対応**
 - ・リサイクル
 - ・高効率MQL切削加工技術
 - ・ロボットミリング
- ✓ **自動化**
 - ・燃料タンク内シーリング(作業環境改善)
 - ・ロボットミリング(柔軟性)
- ✓ **安全・安心の技術**
 - ・短時間ロボスト検査技術
- ✓ **国際競争力向上**

2012年度 共同研究開始

航空機用難削材 (Ti, Al-Li, CFRP) の高速切削

2013年度 コンソーシアム (CMI) 設立 (5年間)

切削+

塑性加工, 接合, 組立, 修理, 検査, リサイクル

✓ 多対多の共同研究方式

米国で近年採用されつつある新しい共同研究方式

✓ 運営

・ビジネスミーティング: 1~2ヶ月に1回

・テクニカルミーティング: 1ヶ月に1回

テレコンファレンス (日米電話会議): 1ヶ月に1回

各メンバーが事業所より参加

・サイドミーティング (テクニカル): 随時

プロジェクト毎の国内, 日米ミーティング

切削加工 (I) : チタン合金の高速切削

✓ ポケット加工の高速化 (大幅な時間短縮)

・荒削り → 仕上削り → 手仕上げ → **荒削り → 仕上削り**

・**手仕上げ不要の切削加工技術の確立** ↔ **磨きレスの金型加工技術 (日本のお家芸)**

✓ 切削面の段差・バリ解消のための工夫

・高速の仕上げ削りで摩耗しにくい, びびりにくい刃形と加工条件

・仕上げ削りのためのコーナ部、フィレット部での下準備

・

→ **段差やバリのないきれいな仕上がり**
各社から手仕上げ不要の評価



使用工具の底部と加工後のポケット

切削加工 (I) : チタン合金の高速切削の今後の展開

✓ 高能率加工への対応

高能率化を実現する新工具(刃形)の開発
当面は、仕上げ加工時間の短縮

✓ アルミ合金のポケット切削への適用: チタンとは加工方法が変わる

仕上げ面の品位向上
手仕上げ工程の削減
高能率加工による加工時間の短縮

✓ 高能率加工のストラテジー

ポケットサイズ: 大 → 荒削りの高能率化

ポケットサイズ: 小 → 仕上げ削りの高能率化の効果: 小さい

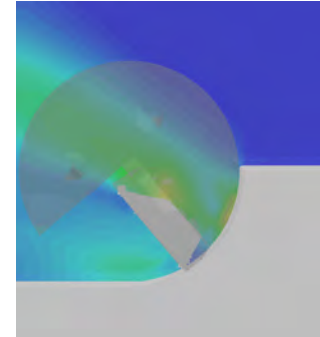


航空機部品: ポケット加工の例

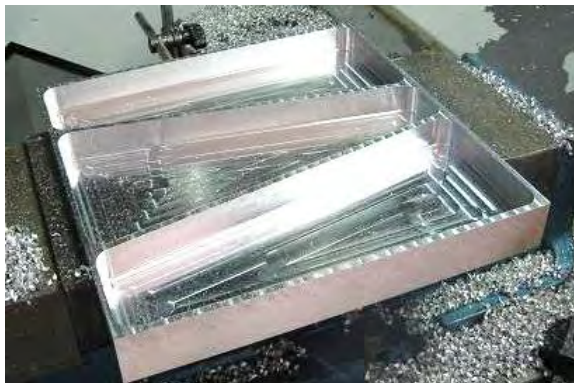
切削加工(Ⅱ): アルミ・リチウム合金のMQL切削

- ✓ ポケット加工
 - ・荒削り, 切りくず凝着の防止
 - ・新しいMQL供給法
- ✓ 数値解析によるミスト供給状態の確認
 - ・新しいMQL供給方法
 - ・新工具(プロトタイプ)の作成

→ びびりにくい
切りくずが凝着しにくい



ミスト流れの
数値流体解析



ポケット加工



新工具



従来工具

びびり
マーク

切削加工(Ⅱ): アルミ・リチウム合金のMQL切削

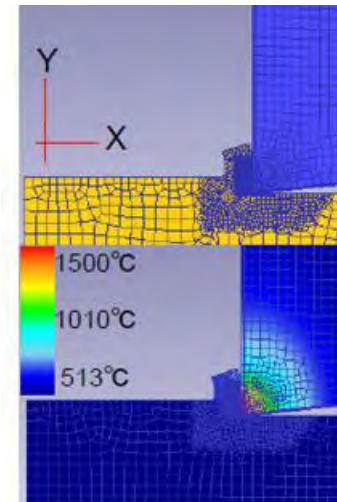
✓ 残留応力による変形

- ・ポケット加工後の残留応力の低減
工具
加工法
加工工程
- ・新しいMQL供給法



✓ 数値解析による予測

- ・有限要素解析
- ・流体解析
- ・素材の残留応力評価
- ・残留応力の評価
- ・切削条件, 冷却条件の最適化



切削加工(Ⅲ): CFRPのドリル加工

- ✓ 数値解析による切削力, 切削温度, 工具摩耗, 切りくず流出方向の予測



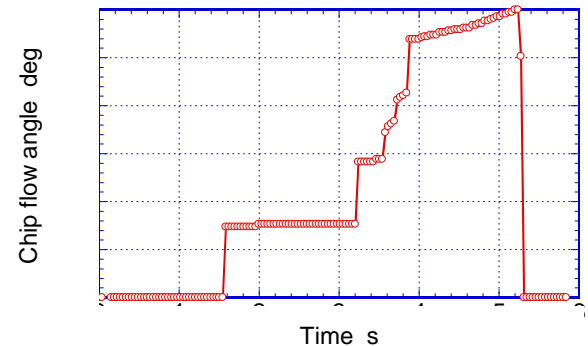
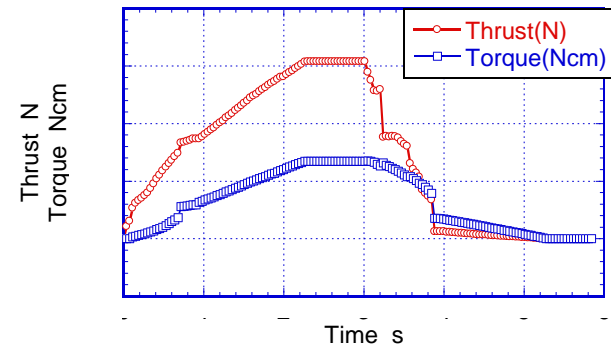
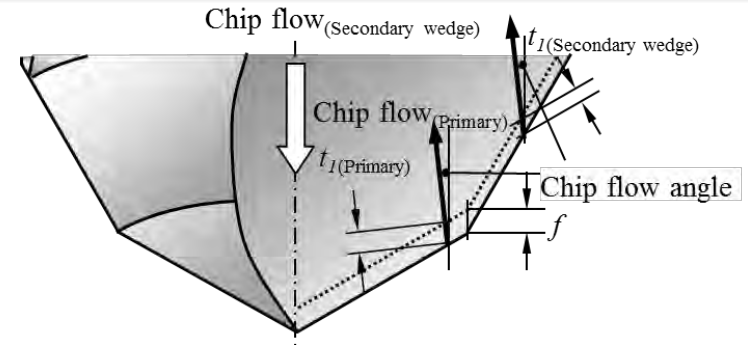
工具摩耗 → 摩耗したドリルの切削力

工具摩耗モデル

$$\frac{dW}{dt} = A\sigma_n V_{real} \exp\left(-\frac{B}{T}\right)$$



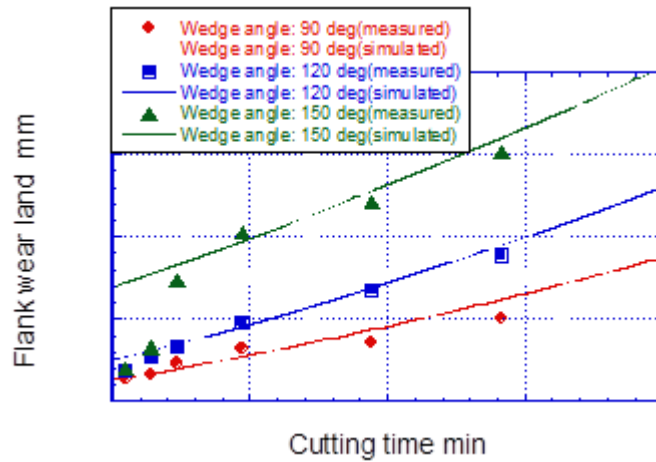
- ・工具摩耗と剥離(方向性)の関係
- ・孔径, CFRPの厚さに対する刃形の最適化
- ・CFRPと金属のスタック材への適用



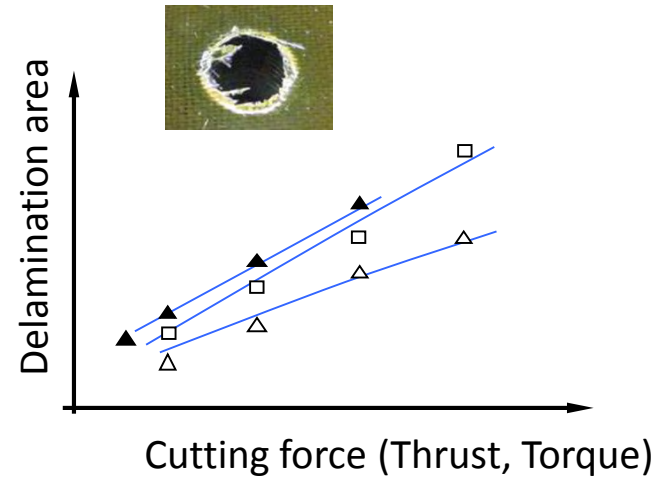
切削力と切りくず流出角

切削加工(Ⅲ): CFRPのドリル加工

✓ ドリルの摩耗

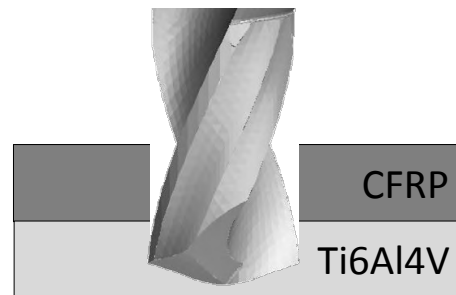


✓ CFRPのデラミネーション



✓ CFRPとチタンのスタック材の孔明け

- ・チタン合金の切削過程の改善
 - 切削温度
 - 工具摩耗
- ・切りくず制御
 - CFRP内壁の損傷



ロボット切削技術

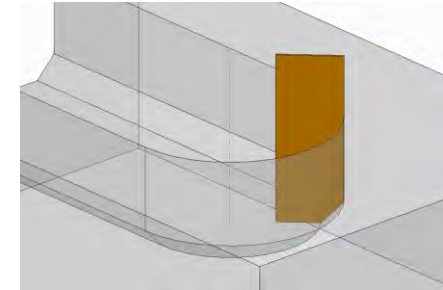
- ✓ 切削力の合力と作用方向の予測
- ✓ ロボットの剛性, 動特性



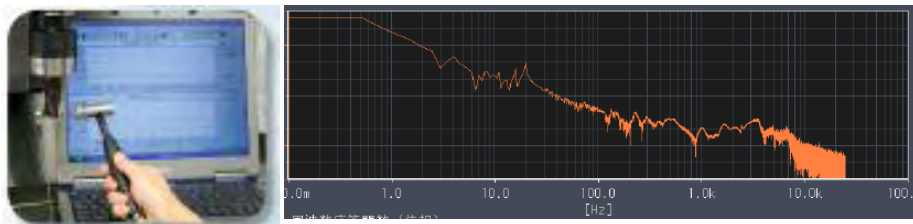
ロボットによるフライス削り



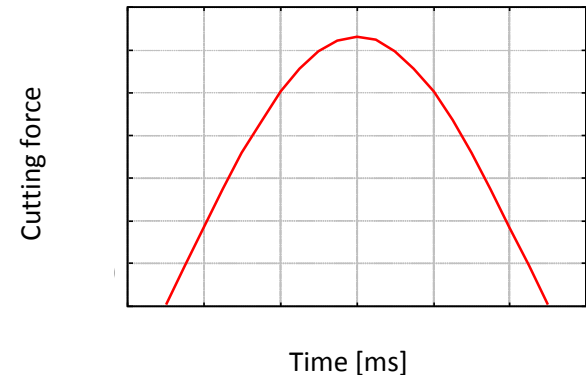
想定される加工面
(ケミカルミリングの加工面)



ラジアスエンドミルによるスロッティング



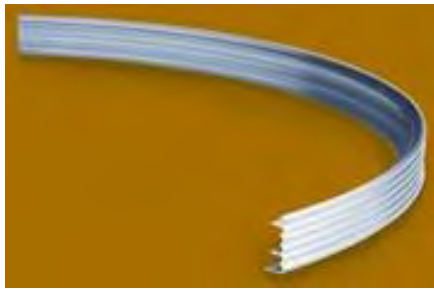
ロボットの動的コンプライアンスの計測例



切削力の予測
(エネルギー解析法)

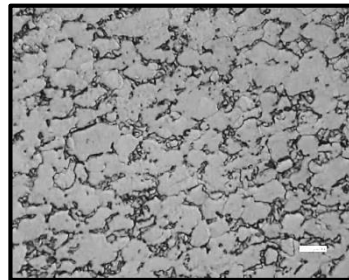
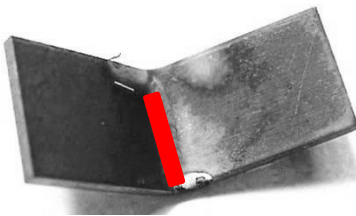
チタン合金の熱間成形加工技術

- ✓ 切削用素形材の成形
切りくず量・切削時間の大幅削減

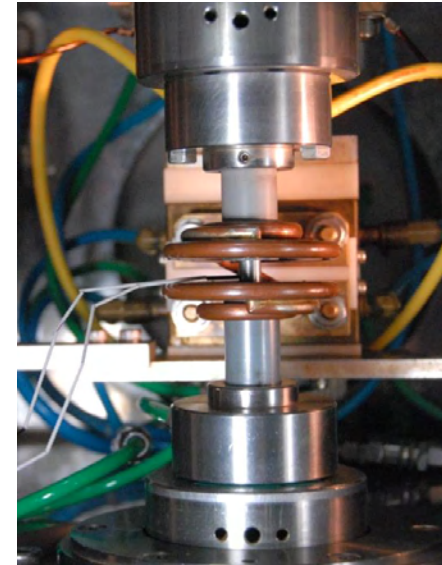
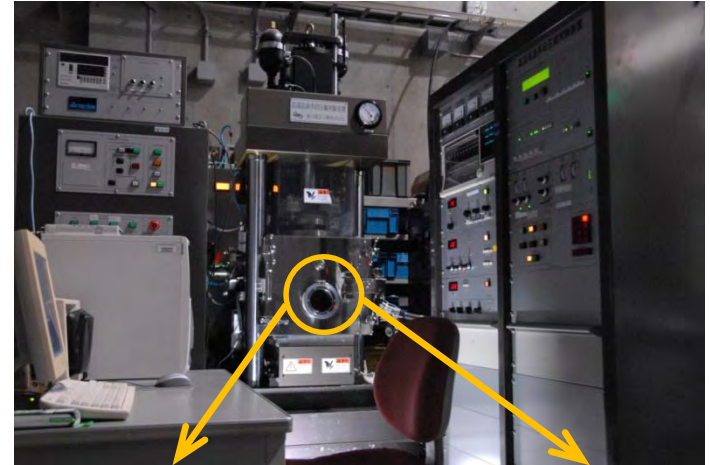


薄肉大半径部材

- ✓ 残留応力制御
 - ✓ 組織制御
- ➡ 切削前の残留応力の低減



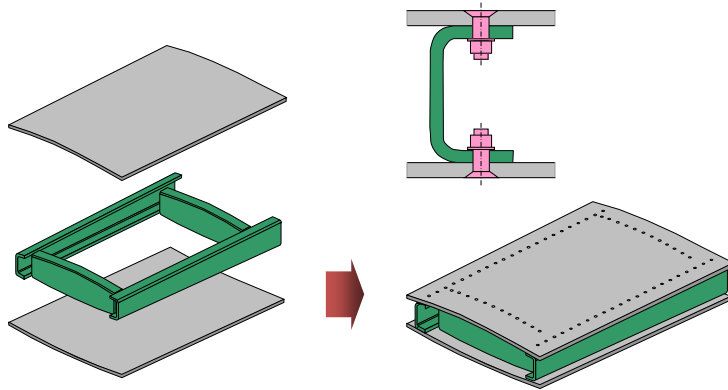
組織とスプリングバック評価



温度・ひずみ速度制御材料試験機

燃料タンク内シーリング

- ✓ シーリング作業の自動化



燃料タンク模型



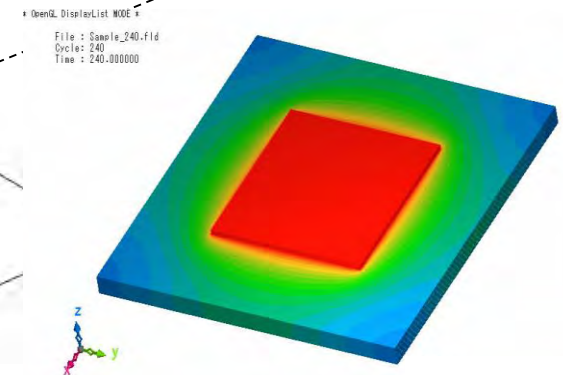
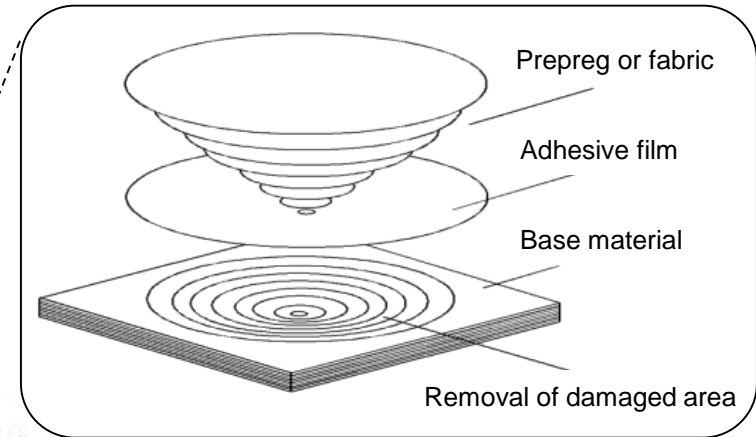
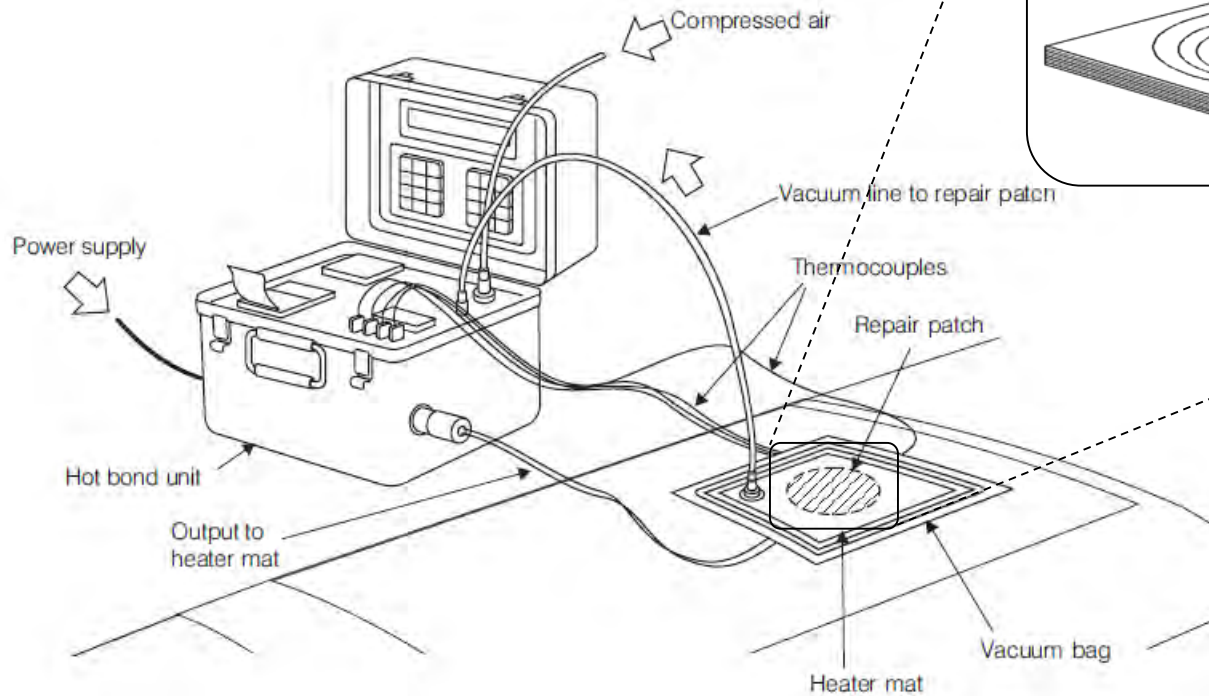
シーリングのモデル

- ✓ シーリング作業の解析とロボットによる制御



CFRP修理

✓ 数値解析で温度予測・温度管理



温度の見える化

航空機用チタンのリサイクル

✓ リサイクルモデル

