

# 現物の内部属性計測とモデル化

：3次元内部構造顕微鏡の新しい機能とV-Catの展開



生物基盤構築チーム  
藤崎 和弘  
横田 秀夫

## 背景と目的

複合材料、介在物・欠陥含有体の破壊・疲労特性調査  
材料内部の微視構造・組織のモデリング、力学解析が重要

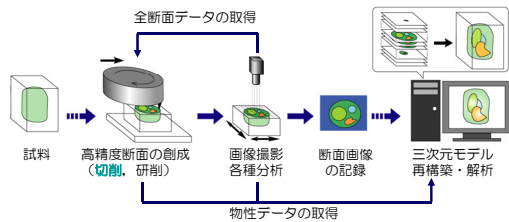
### 目的

- ・ 高分解能三次元形態情報の取得  
例) 製品内部の錆染, 介在物の形状・分布とクラックの関係
- ・ 物質内部の機能情報の取得  
例) 欠陥周辺の物性変化  
力学シミュレーションのための物性データ取得

VCADシステムを

- 実在するものの解析に適用する
- 内部情報をもった複雑挙動の解析に応用する  
ための形状・物性データの取得

## 内部情報取得システム

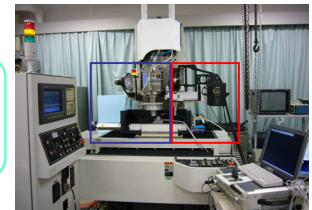
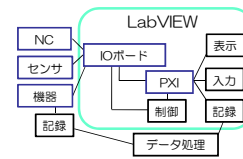


### 必須事項

- ・ 表面観察可能な精密仕上げ面を得る
- ・ 長距離(多断面)にわたる安定した除去加工を実現する
- ・ 高速検出可能な計測システムを構築する
- ・ 内部の機能情報を取得する

## 計測システム

3次元内部構造顕微鏡  
(生体力学シミュレーション所有)



### 加工部

- ・ 精密立形加工機 (UVM-350(J)) : 東芝機械
- ・ 切削方式: 正面フライス・平削り
- ・ 主 軸: 空気静圧軸受 最大3万rpm  
(1秒間に500回転)

### 検出部

- ・ マイクロスコープ
- ・ レーザ変位計
- ・ 分光分析装置
- ・ X線分析装置

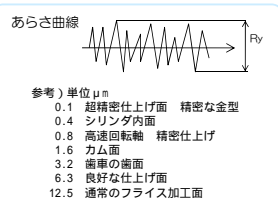
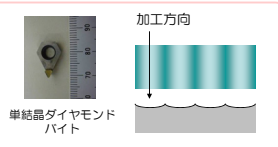
## 加工面の生成



平削り



フライカット  
(1枚刃による回転切削)



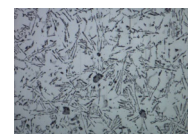
## 表面の様子

切削面の顕微鏡観察例

対象: ADC12 (鋳鋼なし)

切削条件

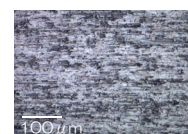
工具: 単結晶ダイヤモンド  
切込: 5 $\mu\text{m}$ , 1刃送り量: 5 $\mu\text{m}$   
F2000 mm/min  
介在物, 異種組織が観察可能



良好な切削面



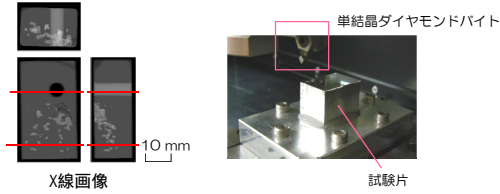
切削にて鏡面加工されたADC12外観



観察困難な切削面 (むしれ)

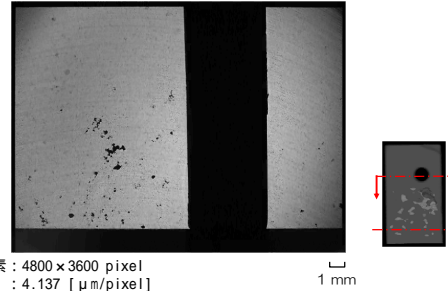
## 観察例 ADC12製品

【目標】ダイカスト製品内部の鑄巣の形状・分布が製品の寿命、力学特性に与える影響を知りたい  
 ……形状と分布の観察



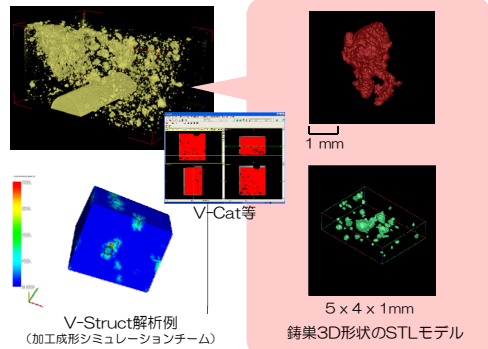
材 質：アルミニウムダイカスト（ADC12）鑄巢含有体  
 寸 法：20×14×37 [mm]  
 加 工：ダイヤモンド工具 非鉄材の精密加工に利用されている

## 断面画像



撮像素素：4800×3600 pixel  
 分解能：4.137 [μm/pixel]  
 切込み：5 μm  
 観察範囲：19.86×14.89 [mm]  
 撮影枚数：3900枚（厚さ 20mm）

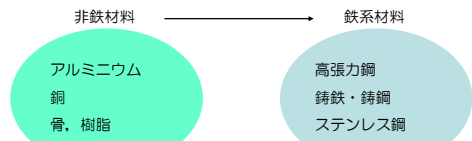
## 鑄巣の観察



V-Struct解析例  
 (加工成形シミュレーションチーム)

5×4×1mm  
 鑄巣3D形状のSTLモデル

## 加工部の改良 測定対象の拡大



鉄鋼材料内部の介在物・き裂の形態を観察したい（製鋼メーカーの要望）

介在物  
 疲労破壊の起点となる  
 材料の品質向上には介在物の抑制と制御技術が重要  
 介在物の形状と種別・初期き裂の観察

## 鉄鋼材料観察の問題点

【問題点】鉄系材料へのダイヤモンド工具適用は困難

：急激な刃先の磨耗 切削熱による化学反応の促進  
 ↓  
 ：鏡面の生成が困難 ダイヤモンドの黒鉛化

【解決策】

切削時の冷却：潤滑・冷媒中での切削  
 工具表面の安定化：表面メッキなどによる改質  
 鉄鋼材表面にメッキ：鋼を成形後、メッキして精密加工  
 工具の変更：別工具材料の使用

## cBN工具

ダイヤモンドに次ぐ硬い工具をつくる  
 立方晶窒化ホウ素（cBN）

【主な性質】  
 熱に強く、化学的に安定  
 世の中で2番目に硬い  
 人工ダイヤモンドと同様、高圧高温下で生成

既に加工用工具として利用されている  
 （鉄鋼の仕上げ加工など）  
 単結晶よりも微粒子焼結体の方が

・機械特性  
 ・熱特性 に優れる

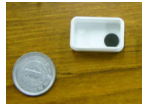
純度が高く超微粒子で構成される素材が必要



高圧プレス  
 (物材機構)

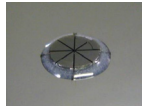
## 工具開発

素材入手から切削実験まで



cBN素材 7, t 0.8mm

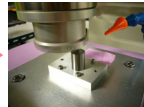
素材：10GPa, 1800 °CでhBNから相転換  
 粒径 100nm以下  
**超微粒子バインドレス焼結体**  
 ・ ・ ・ 物質材料研究開発機構 谷口氏より  
 (現在、共同研究中)



切断して小片化



工具形状への成形



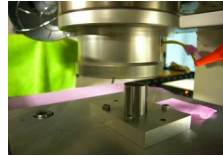
鋼の加工実験へ

## vs 鉄鋼 フライカット

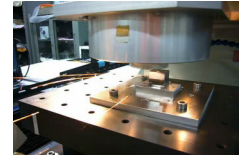
・ステンレス鋼 SUS420J2 および 中炭素鋼 S50C

テスト条件

切削条件 回転数：6000rpm 切込み：5um 1刃送り：2um ドライ



SUS420J2加工時



S50C加工時

・高負荷時に火花の発生

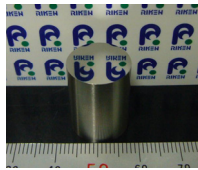
火花のでない条件探し

切込み, 1刃送りを抑えることに

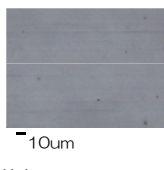
## vs 鉄鋼 フライカット

・ステンレス鋼 SUS420J2

切削条件 回転数：6000rpm 切込み：2um 1刃送り：2um ドライ



工具バス

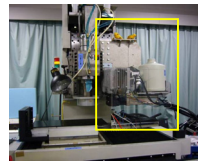


10um

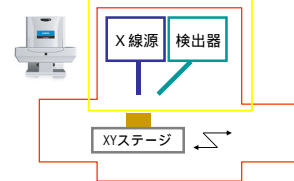
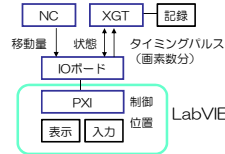
面精度 PV= 92, Ra=16 nm

最良面 PV < 50, Ra < 7

## 検出部の新機能 3次元内部元素分析システム



XGT5000 (X線分析顕微鏡：HORIBA製) の搭載



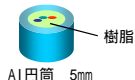
・ X線照射・観察部を工作機械に搭載し、工作機械のXYテーブルと同期することで測定を行う。

XGT装置改造：(株)HORIBAの協力

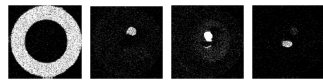
## 3D元素分布

試験片

Ag, Zn, Snワイヤ

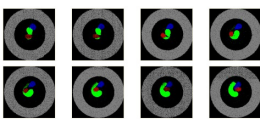


樹脂



各元素のマッピング結果

複数断面での取得



青:Ag 緑:Zn 赤:Sn 灰:Al

V-Catによる可視化 出力stl or vobj

## まとめ

・精密切削用cBN工具の開発により

これまでダイヤモンド工具適用困難であった鉄鋼材料の鏡面加工・顕微鏡観察が可能となった

本研究は 横田TL, 山形TL, 古城氏(生体力学), 谷口氏(物質材料)との連携による

・ X線蛍光分析顕微鏡の搭載により

複合材料や介在物などを対象に、形状と材質情報を持ったVCADデータの取得が可能となった

本研究は 横田TL, 古城氏(生体力学), (株)HORIBAとの連携による

成果公表

- [1] 精密工学会秋季大会2007(旭川)  
『超微粒子バインドレスcBN工具を用いた鉄鋼材料の精密切削』
- [2] CXOM2007(京都)  
『Three-dimensional Microscopic Elemental Analyses based on X-ray Fluorescence Analysis combined with NC High-precision Machining Process』