平成２３年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「３次元内部構造顕微鏡を用いた高精度形状測定及び内部観察技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成２４年　３月

委託者　関東経済産業局

委託先　高島産業株式会社

目　次

第１章 研究開発の概要

１－１　研究開発の背景・研究目的及び目標・・・・・・・・・・・・・・・・・２
１－２　研究体制・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・４
　　（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）
１－３　成果概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・９
１－４　当該研究開発の連絡窓口・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・１０

第２章　本論

２－１　工具破損の検出機能の開発・・・・・・・・・・・・・・・・・・・１２
２－２　合成圧力を緩和した超微粒子 cBN 焼結体の研究開発・・・・・・・１４
２－３　連続断面測定用の加工データベースの構築・・・・・・・・・・・１６
２－４　各部の寸法計測ツールの開発・・・・・・・・・・・・・・・・・・１８
２－５　３次元内部構造顕微鏡を用いた組織観察手段の開発・・・・・・・１９
２－６　ボクセルへのデータ取込技術の開発・・・・・・・・・・・・・・・２１
２－７　判定の自動化技術の開発・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・２３

最終章　全体総括・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・２４

第１章　研究開発の概要

１－１　研究開発の背景・研究目的及び目標

１－１－１　背景

自動車産業では省エネルギー・省資源の要求から動力伝達装置の小型・軽量化及び長寿命化の要請傾向が強まっている。その構成部材に於いても自体の信頼性・耐久性の向上と共に小型・軽量化が求められている。この為、形状・精度や表面状態の他に、信頼性・耐久性及び寿命に対し致命的な欠点となる部材の内部構造、すなわち、巣・異物の存在・形状・分布等を正確に観察・評価・解析して品質管理や改良を行う必要がある。部材内部の信頼性・耐久性及び寿命にかかわる観察・評価を行う為にはマイクロクラック等に匹敵する 0.1μｍオーダーの解像度が必要である。しかし従来技術である CT や超音波などを使用した測定の解像度（0.1mm のオーダー）では全く不十分である。そこで従来の測定方法に変わる 0.1μｍオーダーの解像度を持ち、巣・異物の識別が可能な高精度で信頼性のある内部構造の観察方法と短時間で観察・測定ができ、製造現場で活用できる実用価格の小型卓上型測定装置が求められている。

そのような課題、ニーズを解決するために、平成２１年度戦略的基盤技術高度化支援事業において、本提案と同一の共同体にて、「３次元内部構造顕微鏡を用いた高精度形状測定及び内部観察技術の開発」を実施した。これは、高分解能・高速測定装置を搭載した小型卓上型加工機を用い、観察する部材を鏡面切削し、内部状態をミクロンオーダーの分解能で観察し、立体的に正確に表現する技術である。この装置・技術は、部材内部の巣・異物などの把握を可能とし、その結果、動力伝達部材の信頼性・耐久性の正確な評価、および、品質の安定化を達成する、新たな測定技術・品質管理技術である。

その平成２１年度補正予算事業及び平成２２年度戦略的基盤技術高度化支援事業での研究開発では、「３次元内部構造顕微鏡の開発」「鏡面切削対応の特殊 cBN 工具の開発」「高分解能・高速測定装置の開発」を行い、基本的技術を完成させることができた。また、測定技術および品質管理技術の向上への道筋が見えたと同時に、それをより確かなものとするために、付加すべき機能や、研究すべき課題も明確となった。そこで、更なる研究開発を推進し、新たな測定技術および品質管理技術を完成させる必要がある。

１－１－２　研究開発目的

本研究は高精度の解像度を持ち、巣･異物の識別が可能な高精度で信頼性のある内部構造の観察方法と、短時間で観察･測定ができ、実用価格の製造現場で活用できる小型卓上型測定装置を開発することである。本提案と同一の共同体にて実施した、平成２１年度戦略的基盤技術高度化支援事業での研究開発の成果を用い､更に実用化のために明確になった付加すべき機能及び課題を研究開発する。

・動力伝達部材を鏡面切削し、内部状態を正確に測定する装置。
・動力伝達部材の内部状態をミクロンオーダーの分解能で観察し、
　立体的に正確に表現する技術。
・巣や異物などの識別を行い、内部状態を正確に把握し品質管理に活用する技術。

を研究開発し、ミクロンオーダーの分解能を持つ高速測定装置を搭載した高精度な小型卓上型の三次元内部構造顕微鏡、鏡面切削対応の cBN 工具及びそれらを用いた内部観察技術を開発する。

１－１－３　目標

本研究開発では、平成 21 年度補正予算及び平成 22 年度戦略的基盤技術高度化支援事業（以下「サポイン事業」という。）において開発した成果をベースに、高精度の解像度を持ち、巣・異物の識別が可能な高精度で信頼性のある内部構造の観察方法と、短時間で観察・測定ができ、実用価格の製造現場で活用できる小型卓上型測定装置として、3 次元内部構造顕微鏡の開発、測定技術の開発、シミュレーション技術の開発を行う。

3 次元内部構造顕微鏡の開発では、サポイン事業において開発した卓上加工装置をベースに、取得した画像データを元に、刃先の欠けや摩耗などの工具破損を検出する機能を研究開発し搭載する。

超微粒子 cBN 焼結体の開発では、実用化領域での製作技術開発を行い、合成方法の技術確立と鏡面切削加工対応の特殊 cBN 工具の開発を行う。

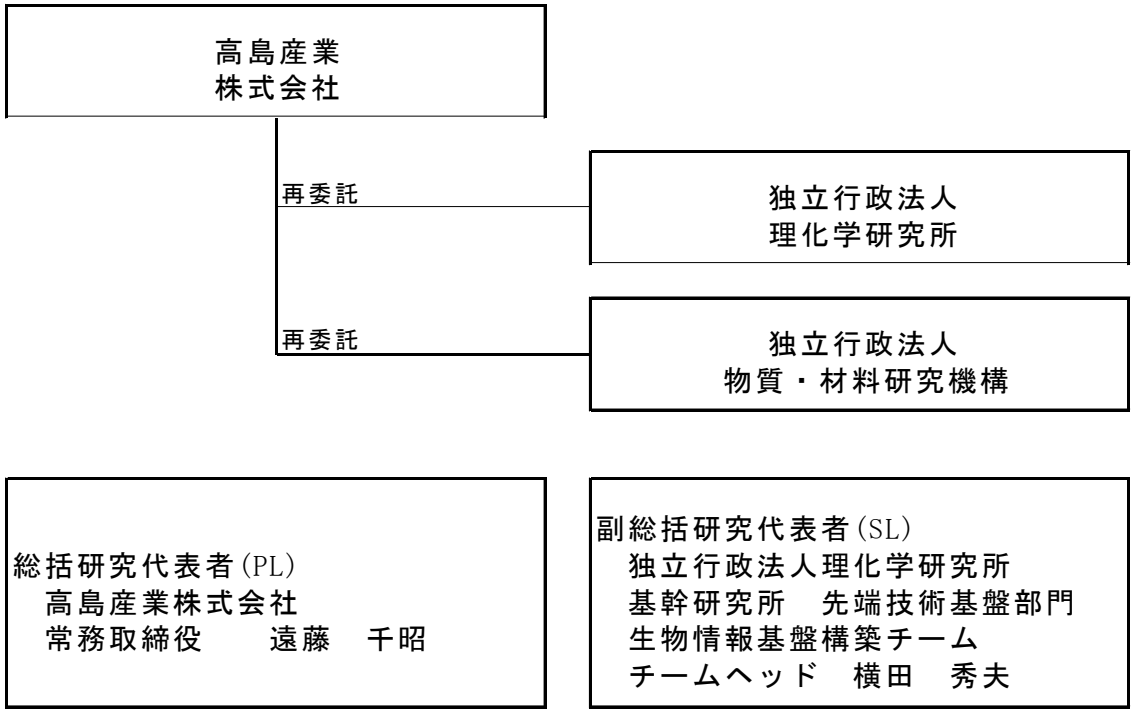
測定技術の開発では、サポイン事業において開発した卓上加工装置で蓄積した加工条件データをデータベース化し、インターフェイスに反映させ、連続断面測定データや観察結果から、3 次元モデル内の計測ツールの研究開発を行う。更に、取得された連続断面測定データを基に加工不良、巣・異物などの 3 次元表現方法と、組織観察機能を向上させ、より高精度な組織観察を可能とする。

これにより、切削加工から連続断面観察、連続断面測定データの取得までの時間短縮と測定精度が向上し、製造現場で使用できる実用型の装置を目指す。

１－２　研究体制

１－２－１　研究組織

１）研究組織（全体）

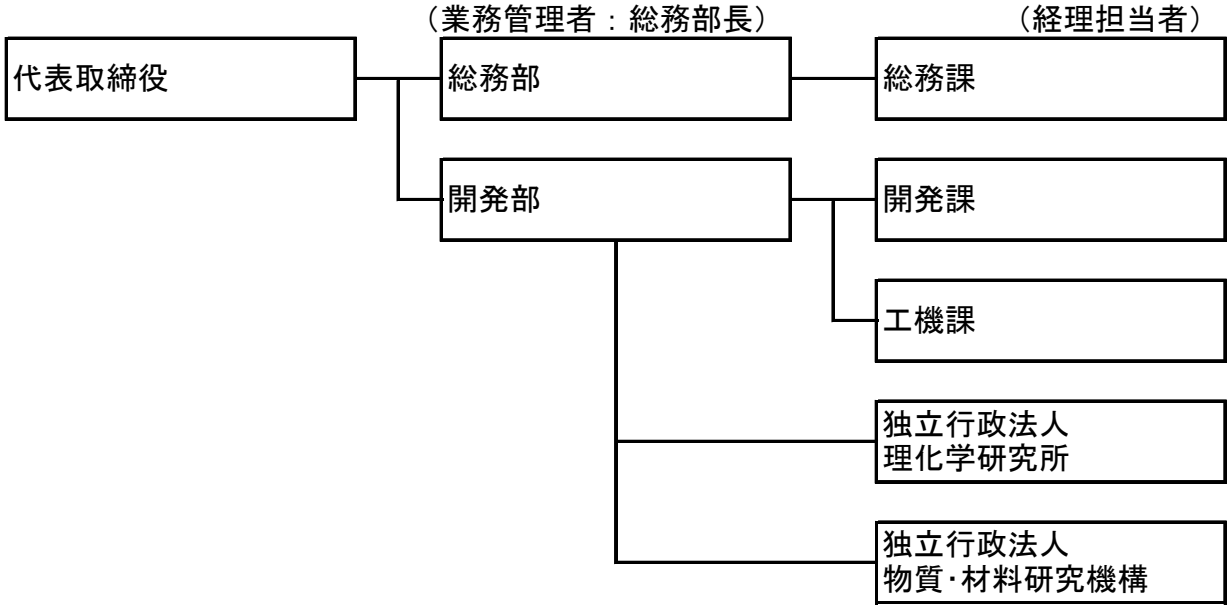


１－２－２　管理体制

１）管理体制

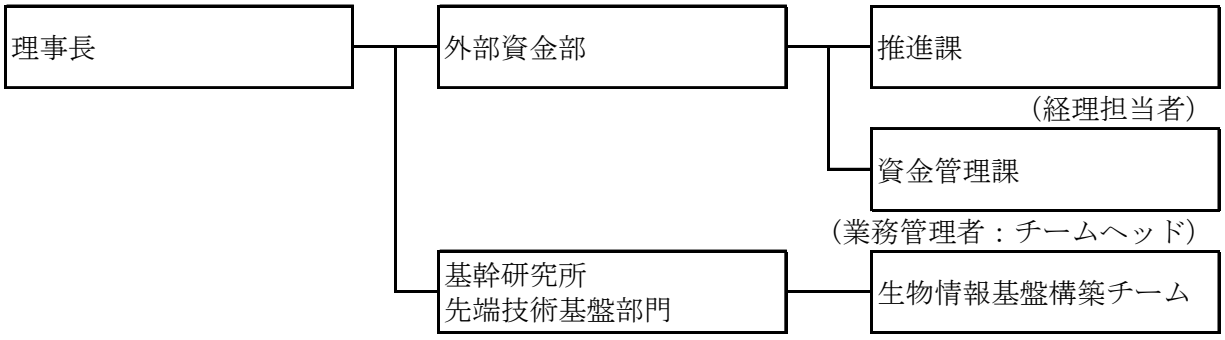
①事業管理機関

［高島産業株式会社］

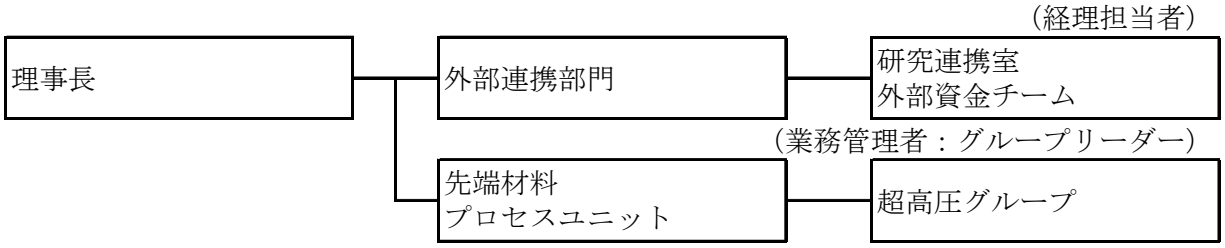


②再委託先

［独立行政法人理化学研究所］



［独立行政法人物質･材料研究機構］



１－２－３　研究者氏名及び研究項目

１）管理員及び研究員

【事業管理機関】高島産業株式会社

①管理員

氏名	所属･役職	実施内容
伊藤　忠彦	開発部　開発課　課長	
大和　淳司	開発部　開発課	・プロジェクトの管理運営 （再委託先管理含む）
永山　奈美	開発部　開発課	
内田　朋希	総務部　総務課　課長	・研究開発推進委員会の設置
金井　　勝	総務部　総務課	

②研究員

氏名	所属･役職	実施内容
遠藤　千昭	常務取締役	【ＰＬ】研究総括
市川　一雄 鈴木　秀峰 花岡　和則 田桐　英敏 佐藤　尊史 大島　英美 内山　一秀 小岩　克治 小林　清幸 平出　敏章	開発部　工機課　課長 開発部　工機課　係長 開発部　工機課　係長 開発部　工機課 開発部　工機課 開発部　工機課 開発部　工機課 開発部　工機課 要素統括部 要素製造課　課長 要素統括部 要素製造課　主任	・工具破損の検出機能の開発 ・合成圧力を緩和した超微粒子cBN焼結体の研究開発 ・連続断面測定用の加工データベースの構築 ・各部の寸法計測ツールの開発 ・３次元内部構造顕微鏡を用いた組織観察手段の開発 ・ボクセルへのデータ取込技術の開発 ・判定の自動化技術の開発

【再委託先】

（研究員）

独立行政法人理化学研究所

氏名	所属･役職	実施内容
横田　秀夫	基幹研究所　先端技術基盤部門 生物情報基盤構築チーム チームヘッド	【ＳＬ】副研究総括
藤崎　和弘	基幹研究所　先端技術基盤部門 生物情報基盤構築チーム	・工具破損の検出機能の開発 ・連続断面測定用の加工データベースの構築 ・各部の寸法計測ツールの開発 ・３次元内部構造顕微鏡を用いた組織観察手段の開発 ・ボクセルへのデータ取込技術の開発 ・判定の自動化技術の開発

【再委託先】

（研究員）

独立行政法人物質･材料研究機構

氏名	所属･役職	実施内容
谷口　　尚	先端材料プロセスユニット 超高圧グループ グループリーダー	・工具破損の検出機能の開発 ・合成圧力を緩和した超微粒子cBN焼結体の研究開発
川村　史朗	先端材料プロセスユニット 超高圧グループ	・連続断面測定用の加工データベースの構築

１－２－４　指導協力者

（１）アドバイザー（２名）

氏　名	所属・役職	指導・協力内容
山形　　豊	独立行政法人理化学研究所 基幹研究所　先端技術基盤部門 超精密加工技術開発チーム チームヘッド	・装置全体の開発に係る指導 ・鏡面切削加工技術に係る指導 ・画像取り込み技術に係る指導
樋口　俊郎	国立大学法人　東京大学大学院 工学系研究科精密機械工学専攻 教授	・制御技術に係る指導

（２）研究開発推進委員会　委員

氏名	所属･役職	備考
遠藤　千昭	高島産業株式会社　常務取締役　開発部長	委 PL
横田　秀夫	独立行政法人理化学研究所　基幹研究所 先端技術基盤部門　生物情報基盤構築チーム チームヘッド	SL
谷口　　尚	独立行政法人物質・材料研究機構 先端材料プロセスユニット 超高圧グループ グループリーダー	
市川　一雄	高島産業株式会社　開発部　工機課　課長	委
鈴木　秀峰	高島産業株式会社　開発部　工機課　係長	委
花岡　和則	高島産業株式会社　開発部　工機課　係長	委
小林　清幸	高島産業株式会社　要素統括部 要素製造課 課長	委
伊藤　忠彦	高島産業株式会社　開発部　開発課　課長	
大和　淳司	高島産業株式会社　開発部　開発課	
永山　奈美	高島産業株式会社　開発部　開発課	

山形　　豊	独立行政法人理化学研究所　基幹研究所 先端技術基盤部門 超精密加工技術開発チーム チームヘッド	アドバイザー
樋口　俊郎	国立大学法人東京大学大学院工学系研究科 精密機械工学専攻　教授	アドバイザー

１－２－５　研究実施場所

場　所	住　　所	主な研究内容
高島産業株式会社	長野県茅野市金沢 5695-6	・工具破損の検出機能の開発 ・合成圧力を緩和した超微粒子 cBN 焼結体の研究開発 ・連続断面測定用の加工データベースの構築 ・各部の寸法計測ツールの開発 ・３次元内部構造顕微鏡を用いた組織観察手段の開発 ・ボクセルへのデータ取込技術の開発 ・判定の自動化技術の開発
独立行政法人 理化学研究所	埼玉県和光市広沢 2-1	・工具破損の検出機能の開発 ・連続断面測定用の加工データベースの構築 ・各部の寸法計測ツールの開発 ・３次元内部構造顕微鏡を用いた組織観察手段の開発 ・ボクセルへのデータ取込技術の開発 ・判定の自動化技術の開発
独立行政法人 物質・材料研究機構	茨城県つくば市並木 1-1	・工具破損の検出機能の開発 ・合成圧力を緩和した超微粒子 cBN 焼結体の研究開発 ・連続断面測定用の加工データベースの構築

１－３　成果概要

１－３－１　工具破損の検出機能の開発

加工中に発生する工具破損等の異常を自動で検出し、切削工具の交換時期を判定する機能を開発した。更にこのシステムを、ユーザーが容易に設定できる対話型インターフェイスとして、３次元内部構造顕微鏡に搭載した。

切削加工時の切削面の画像データを取得して、その輝度値の変化から切削面粗さを判定し、ユーザーが容易に閾値を設定できるシステムを開発した。このシステムは、正常な鏡面切削面の輝度値を基準として、工具破損が生じた切削面の輝度値とを比較し、正常な切削面と異常な切削面の閾値をユーザーが設定して、切削加工中にその閾値を超えると工具破損が発生していると判断することを可能にした。

１－３－２　合成圧力を緩和した超微粒子 cBN 焼結体の研究開発

ダイヤモンドに次ぐ超硬質材料である立方晶窒化ホウ素(cBN)は鉄系金属材料等の切削・研削工具として、近年その需要が増大している。cBN 焼結体工具の特性を十分に引き出す上で、焼結助剤を一切含まない、所謂バインダレス焼結体の有用性が明らかにされてきた。これは低密度相である六方晶窒化ホウ素(hBN)を高圧、高温度下で cBN に直接転換すると同時に、焼結させる反応焼結であり、8 万気圧,2200℃領域において良質の透光性焼結体が得られている。一方、金属材料（金型など）の超精密切削を可能とする工具材料の開発では,100nm 以下の微細な粒子径からなる高強度の焼結体の適用が求められているが、8 万気圧領域で得られる高純度 cBN 焼結体の粒子径はおよそ 500nm 程度であり、これよりも微細な粒径の焼結体を得るためには、粒成長を抑制するために焼結温度を低減する等の工夫が必要となる。そこで、10-12GPa 領域まで高圧合成条件を拡張し、焼結温度を 1700℃程度まで低減することで、粒成長を抑制した微粒 cBN 焼結体を合成し、その特性が明らかにされてきた(図２－２－１)。

得られた焼結体は鉄系金属の超精密切削試験において優れた特性を示し、構成粒子径の微細化の効果が明らかである。しかしながら、10GPa 以上の合成条件は焼結体の量産化のためには不向きであり、粒成長を抑制した cBN 焼結体の合成条件の緩和が課題と言える

そこで、より低圧力領域での微粒かつ高純度 cBN 焼結体の合成を試みた。具体的には 5 万気圧領域における cBN 粒子の直接焼結と 8 万気圧領域における 2 段階焼結である。前者では半透光性のバインダレス焼結体が得られたが、その硬度は十分ではなく、工具応用には適さなかった。他方、後者では良質な焼結体が得られ、切削工具としての有用性が見出された。

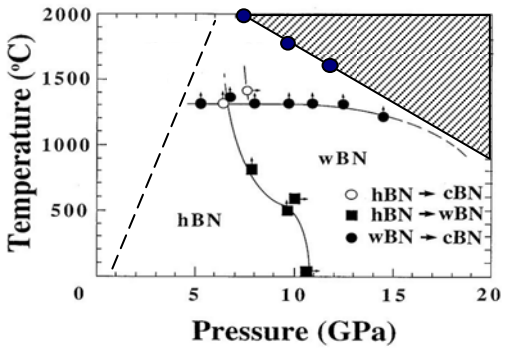


図２－２－１　cBN の反応相図

１－３－３　連続断面測定用の加工データベースの構築

切削速度やスピンドル回転数、切り込み量や送り量などの加工条件を、切削加工及び観察測定が完了すると同時に、自動的に加工履歴へ蓄積する機能を開発した。更にユーザーが連続断面測定の加工条件を選択する際には、この加工履歴から最適な条件が選択でき、自動的に設定する機能を開発し、これらの機能を平成 22 年度戦略的基盤技術高度化支援事業にて開発した対話型ユーザーインターフェイスへ統合した。

１－３－４　各部の寸法計測ツールの開発

素材内部に存在する異物や巣を、わかりやすく数値的に表現し、現場で効果的な活用を可能にするため、（独）理化学研究所の技術を応用して、表面積や体積などの測定手法を研究開発し装置に搭載した。取得した連続断面測定データを元にして、ユーザが指定した領域での巣･異物を抽出し、３次元モデル化した画像データから表面積や体積などの測定操作を可能にした。

１－３－５　３次元内部構造顕微鏡を用いた組織観察手段の開発

平成 22 年度戦略的基盤技術高度化支援事業にて開発した組織観察機構をもとに、観察用照明と光学フィルターを搭載して連続断面の金属組織の観察を可能にした。組織観察に適した観察手段として偏光フィルターを介した観察を研究開発し、3 次元内部構造顕微鏡に偏光フィルター回転機構と組織観察用カメラを搭載し、偏光フィルターの回転制御を行うインターフェイスも開発し、搭載して容易に観察できる機構にした。

１－３－６　ボクセルへのデータ取込技術の開発

連続断面測定データをもとに、観察した部材の内部構造を 3 次元モデルで表示する技術として本研究装置に用いているＶＣＡＤの特徴であるボクセルの定義機能と、（独）理化学研究所の技術を活用し、観察部材内部に介在する複数の材質を、それぞれの物質ごとに識別することを可能にした。

１－３－７　判定の自動化技術の開発

連続断面測定データをもとに、ユーザーが設定した観察領域や異物の体積、表面積の閾値から、部材内部に介在する異物の有効なデータを抽出する手段として（独）理化学研究所の技術を活用し、簡易的な操作で自動的に判別する機能を開発し 3 次元内部構造顕微鏡へ搭載した。

１－４　当該プロジェクト連絡窓口

事業管理者	高島産業株式会社
代 表 者	代表取締役社長　小口武男
住　　所	〒391-0012 長野県茅野市金沢 5695-6
担 当 者	開発部　開発課　伊藤忠彦
連 絡 先	電話：0266-72-8825
	Fax：0266-72-1286
	e-mail：titou@takashima.co.jp

第２章　本論

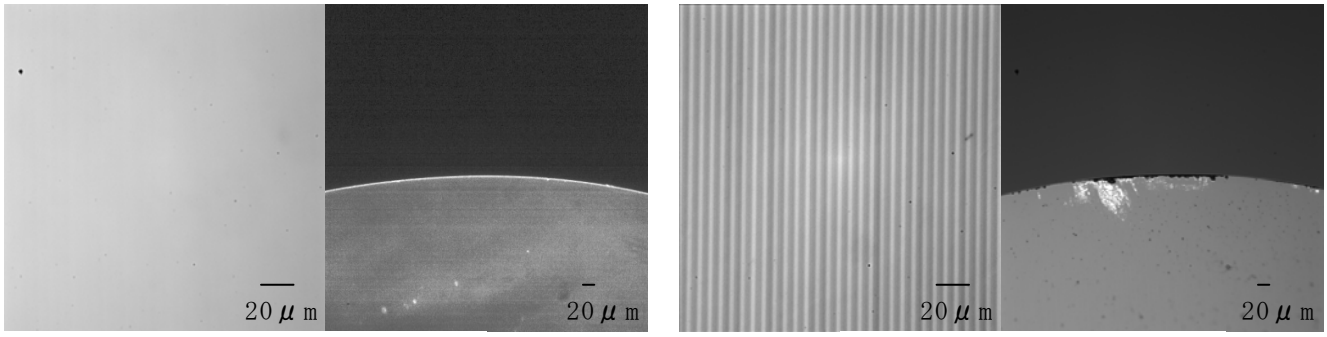
２－１　工具破損の検出機能の開発

２－１－１　研究開発の内容

連続切削断面の測定において、表面粗さは観察精度に大きく影響し、切削工具の交換が必要になる。切削工具の破損や磨耗などによる、工具交換が必要な時期を知らせる機能が無いと、ユーザーは切れない切削工具を用いて、時間を無駄にするばかりか、貴重な観察部材をも失ってしまう。切削工具の交換時期を判定するためには常に人が観察することになり、切削工具の破損検出の自動化が必要である。平成 21 年度補正予算事業及び平成 22 年度戦略的基盤技術高度化支援事業において開発した、高分解能・高速測定装置と画像データを基にした、ノイズ除去、特徴抽出などの画像処理を用い、切削加工に詳しくないユーザーでも工具寿命を意識せずに使用できるように、切削加工時の工具跡などから工具の欠損や磨耗などの検出を行う機能を開発した。

２－１－２　研究成果

平成21年度及び平成22年度戦略的基盤技術高度化支援事業にて開発した３次元内部構造顕微鏡を用い、正常な鏡面切削面と切削工具が破損した状態で加工を行った切削面を比較観察した。図 2-1-1 に切削面と切削工具の刃先の比較写真を示す。切削工具の刃先の破損や欠損が発生すると、切削加工面には切削工具の刃先の形状が転写され、表面粗さが悪化して精密な観察が出来ない。



正常な鏡面切削面　　工具破損が生じた切削面

図 2-1-1　切削加工時の切削面と刃先の形状

加工面の表面粗さ：Ra を計測すると、工具破損の無い切削工具による加工では表面粗さが 18nm、工具破損が生じた状態では表面粗さは 45nm であり、両者の切削表面の画像データの切削痕に垂直な方向の輝度値の変化に差があることがわかった。この輝度値の変化を図 2-1-2 と図 2-1-3 に示す。

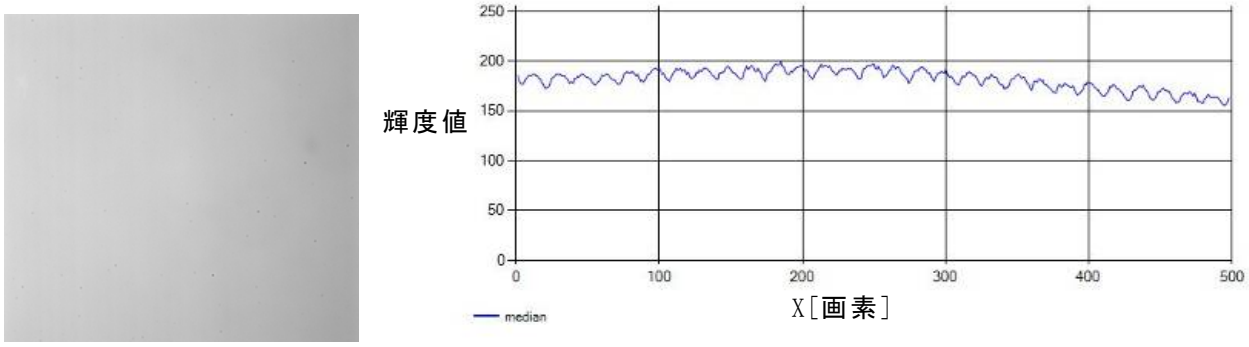


図 2-1-2　輝度値の変化（正常な鏡面切削面）

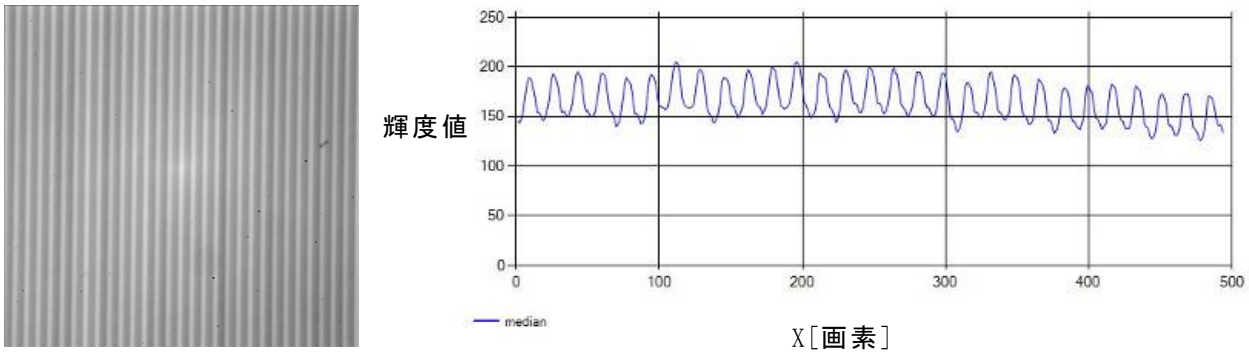


図 2-1-3　輝度値の変化（工具破損が生じた切削面）

開発したシステムは、正常な鏡面切削面の輝度値の変化を基準として、工具破損が生じた切削工具で切削加工した面の輝度値の変化を比較し、良好な加工面をユーザーが閾値として設定できるものとした。切削加工中に、その閾値を超えると工具破損が発生していると判断するものである。

図 2-1-4 に開発した検出機能の操作設定画面を示す。加工中に発生する工具破損等の異常を自動で検出することが可能になり、切削工具の交換時期を判定するために、常に人が観察する必要が無くなり観察効率が向上した。

このシステムは、ユーザーが容易に設定できる対話型インターフェイスとして、３次元内部構造顕微鏡に搭載した。

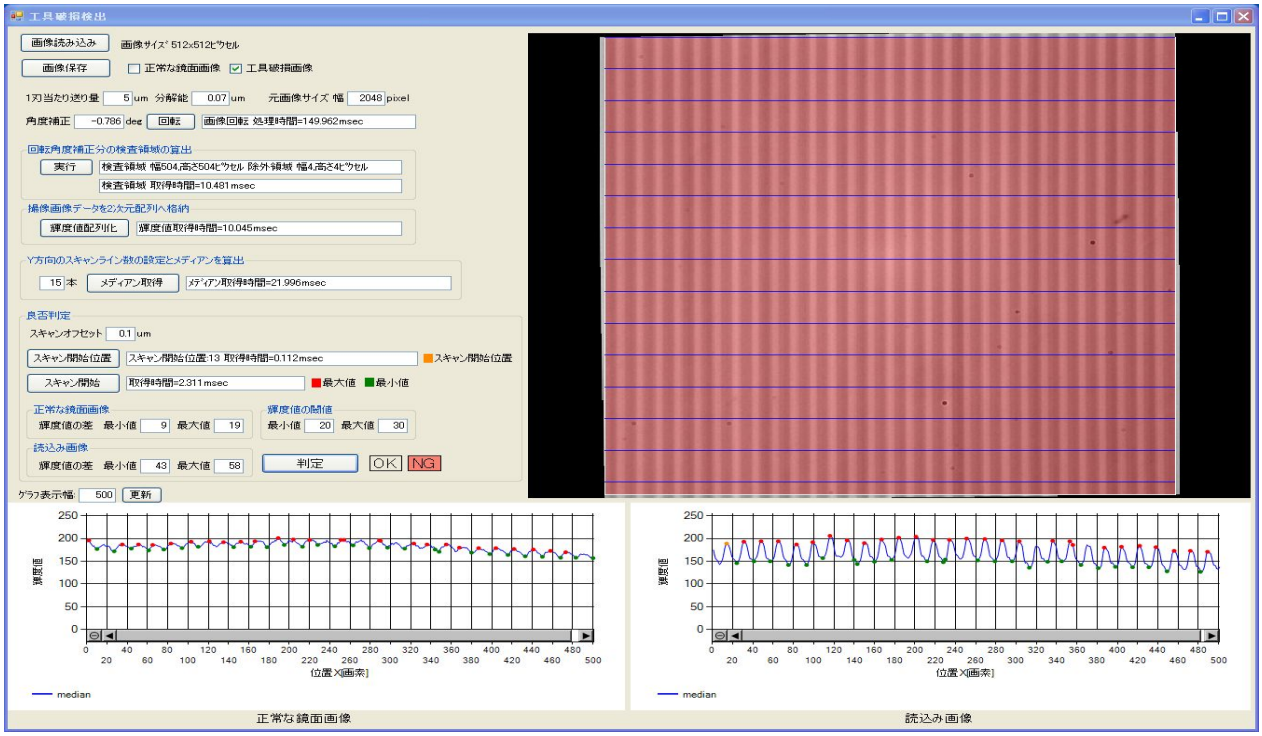


図 2-1-4 開発した工具破損検出機能の設定画面

２－１－３　技術課題と今後の取り組み

開発した工具破損検出機能を用いて、材質や切削条件などが異なる場合でも、正しい判定を実現するために、様々な条件下での連続断面測定を行い、評価および改良を行う。

２－２　合成圧力を緩和した超微粒子 cBN 焼結体の研究開発

２－２－１　研究開発の内容

平成 21 年度戦略的基盤技術高度化支援事業にて研究開発した、超微粒子 cBN 焼結体は、機能・性能は高いものの、工業的に安定した生産が困難である。そこで、H23 年度は前年度に引き続き、他のセラミックスにて使用されている 2 段階焼結法を高圧合成プロセスに適用し、超微粒子 cBN 焼結体の新たな合成方法の確立を目指した。これは、10 万気圧領域で開発された、100nm 以下の超微粒子 cBN 焼結体の合成を、工業的に量産化が可能な 8 万気圧領域で進めることを目指すものである。

２－２－２　研究成果

ベルト型高圧装置(FB30H)を用い、5 万気圧と 8 万気圧領域に分けて高圧合成実験を行った。

5 万気圧領域

5 万気圧領域では、低密度相 BN から cBN への直接転換が完了しないため、原料としては cBN を使用せざるを得ない。初期の粒子径を変えて焼結実験を行ったところ、100nm 以下の cBN 微粒子を酸及びアルカリ溶液で精製し、純水で洗浄した後に凍結乾燥処理を施すこと

により、5GPa,1500℃領域において僅かながら透光性を呈する焼結体が得られた(図２)。しかしながらビッカース硬度(荷重 98N)は 40GPa 程度と、通常の cBN 複合焼結体より硬度は優るものの耐熱性等に劣り、切削工具としては今のところ有用ではない。微構造観察によると、粒界に酸素が検出されており、原料となる cBN 粒子表面の清浄化処理が課題と言える。

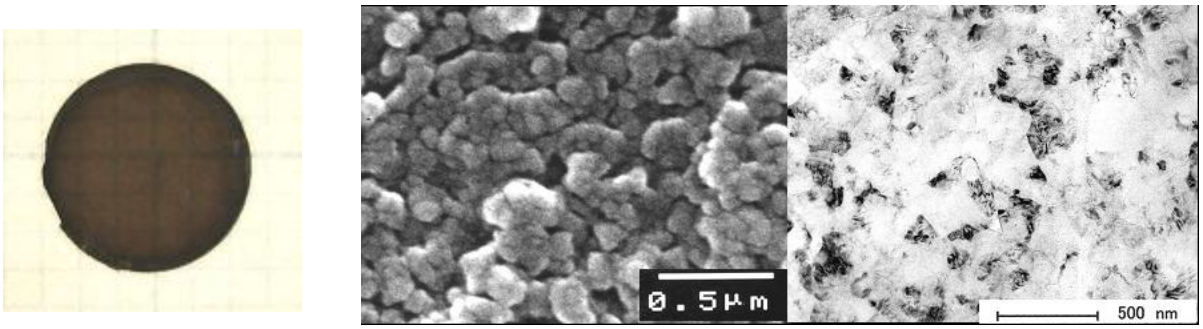


図 2-2-2.　5GPa 領域で合成した cBN 焼結体と破断面の SEM 及び TEM 像

8 万気圧領域

既報の cBN の反応焼結手法に則り、脱酸素処理を施した試料（3 種類の異なる hBN 原料と pBN）とし、タンタルカプセルを用いた。冒頭に述べた様に、7.7GPa における hBN から cBN への転換にはおよそ 2200℃程度必要である。その際の保持時間に応じて、固相転移と焼結が進行し、併せて粒成長が生じることになる。

8 万気圧領域で 100nm 以下に粒成長を抑える目的で、保持時間の短縮、また、一度 2200℃程度まで加熱し、その後速やかに中温度領域で焼結を進行させる、所謂 2 段階焼結法による合成を試みた。すなわち、cBN 単相化を高温・短時間で実現し、その後中温・長時間で焼結することを目指した。この過程では相転換に要する温度と時間の相関は出発試料の性状と共に、反応場の静水圧性等にも影響される。上述の 5 万気圧領域における実験では、cBN 微粒子の焼結に必要な温度は 1500℃程度である。短時間で cBN への単相化がなされる条件を見出すことが課題である。試行錯誤の末、8 万気圧、2400℃、2 分間及び 1600℃18 分間の処理で cBN への単相化がなされることが明らかとなった。図２－２－３に 2 段階焼結プロフィールと得られた焼結体試料とこれをフェムト秒レーザー加工により切削工具用に切断した試料の光学顕微鏡写真を示す。

図 2-2-3　8GPa　2 段階焼結法で合成した cBN 焼結体

２－３　連続断面測定用の加工データベースの構築

２－３－１　研究開発の内容

本装置は、その動作は精密切削加工機であってもユーザーにとっては測定器である。精密切削加工に詳しくないユーザーでも、素材や求める分解能あるいは観察範囲に応じた高度な加工条件の設定が必要である。

そこで本装置に、切削加工時の切削速度やスピンドル回転数、送り量や切り込み量などの各種条件を保存する加工データベース機能を構築し、加工の適正な条件を用いて、適切な条件設定が出来る機能を搭載した。更にそれらの操作を対話式に容易に操作できるユーザーインターフェイスを開発し本装置に統合した。

２－３－２　研究成果

切削速度やスピンドル回転数、切り込み量や送り量など測定のための加工条件を設定して、切削加工から連続断面測定まで実行し、正常な測定が完了すると同時に自動的に加工履歴へデータベースとして保存するシステムを開発した。またユーザーが連続断面測定の加工条件を選択する際には、この加工履歴から最適な条件を選択でき、自動的に設定する機能を開発し、これらの機能を平成 22 年度戦略的基盤技術高度化支援事業にて開発した対話型ユーザーインターフェイスへ統合した。

開発した加工データベースの機能を図 2-3-1 に示す。

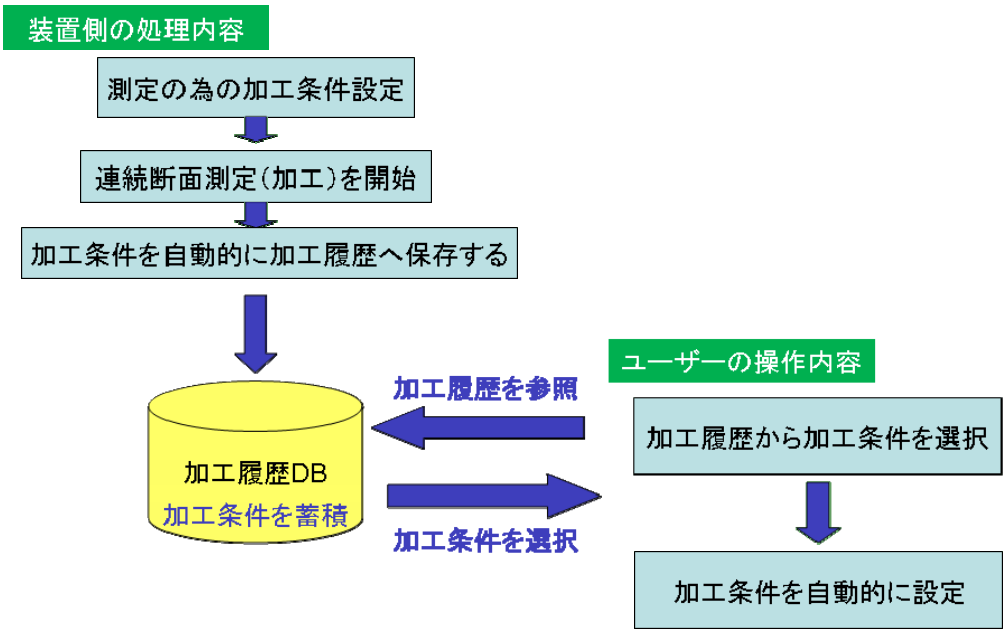


図 2-3-1 加工データベースの機能

新たに加工条件を設定して連続断面測定を行うものに対しては、その都度加工条件を自動で加工履歴データベース上に蓄積し、活用できるデータとなる。
ユーザーは加工履歴のインターフェイス画面から容易に各種条件が選択でき、切削加工から連続断面測定まで最適な条件が自動的に設定できる機能を開発した。設定する時のインターフェイス画面を図 2-3-2 に示す。
加工履歴は測定を行いながら蓄積していくため測定回数に応じて増加し、ユーザーの貴重な加工履歴となる。
加工履歴から最適な加工条件を検索し選択する際に、測定する材料や使用する切削工具等の加工条件を入力して、それらに合った履歴データを抽出して表示する機能も開発し、ユーザーが履歴検索するときに、できるだけ短時間で効率良く探し出すことができる機能にした。

図 2-3-2 加工履歴のユーザーインターフェイス

２－３－３　技術課題と今後の取り組み

開発したシステムを用いて、蓄積するデータの有効性を検証し、ユーザーに対して加工データベースを活用した有効な情報を提供できるシステムを検討していく。

２－４　各部の寸法計測ツールの開発

２－４－１　研究開発の内容

平成 22 年度戦略的基盤技術高度化支援事業において開発した 3 次元モデル化の機構では可視化までは可能であったが、品質管理のためには素材内部に存在する異物や巣を、数値的に表現する必要がある。

そのため（独）理化学研究所の技術を応用して、表面積や体積などの評価の必要な値の測定手法を研究開発し装置に搭載した。取得した連続断面測定データを元にして、ユーザが指定した領域での巣･異物を抽出し、3 次元モデル化した画像データから表面積や体積などの測定を可能にした。

２－４－２　研究成果

平成 22 年度戦略的基盤技術高度化支援事業で開発した連続断面測定データを 3 次元モデルとして可視化する技術を元に、その 3 次元モデルから素材内部に存在する異物や巣などの表面積や体積を求める手段を構築した。独立行政法人理化学研究所の VCAT Properties の技術を応用して、データの変換やモデリング時のアルゴリズムを設定し、必要部分だけを簡易に可視化し寸法計測できる機能として本装置に搭載した。3 次元モデルを計測

した例を図 2-4-1 に示す。指定したモデルの重心座標、体積、表面積を計算表示し、評価できるようにした。

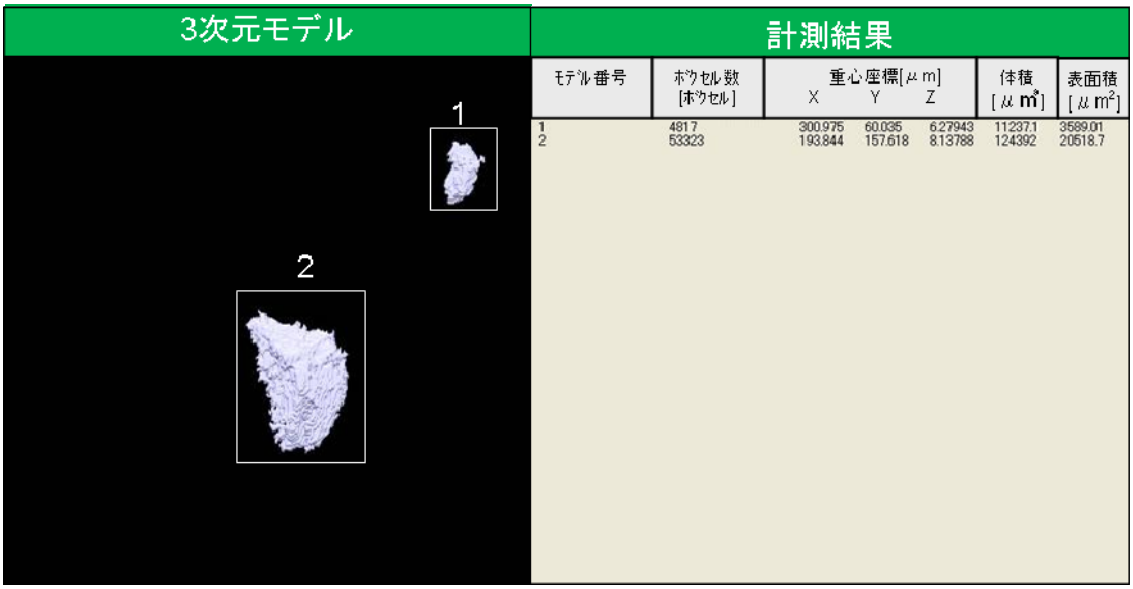


図 2-4-1 寸法計測ツール

２－４－３　技術課題と今後の取り組み

開発した寸法計測ツールを計測結果の表示方法や操作性の向上を図り、ユーザーが使用しやすいインターフェイスへ改良していく。

２－５　３次元内部構造顕微鏡を用いた組織観察手段の開発

２－５－１　研究開発の内容

品質管理を進める上で、新しい材料や信頼性を必要とするような材料においては、金属内部に介在する巣や異物を表現し測定するだけでなく、金属の組織観察も重要な管理項目の一つである。平成 22 年度戦略的基盤技術高度化支援事業にて開発した組織観察機構をもとに、観察用照明と光学フィルターを搭載して鮮明な画像を取得するシステムとすると共に金属組織の立体モデルの観察を可能にした。

２－５－２　研究成果

組織観察に適した機構として、3 次元内部構造顕微鏡に偏光フィルター回転機構と組織観察用カメラを搭載し、偏光フィルターの回転制御を行うインターフェイスも開発して搭載した。

偏光フィルター回転機構は、金属表面の画像取り込み時に偏光フィルターを回転させ、観察を行う機構である。搭載した偏光フィルター回転機構を図 2-5-1 に示す。

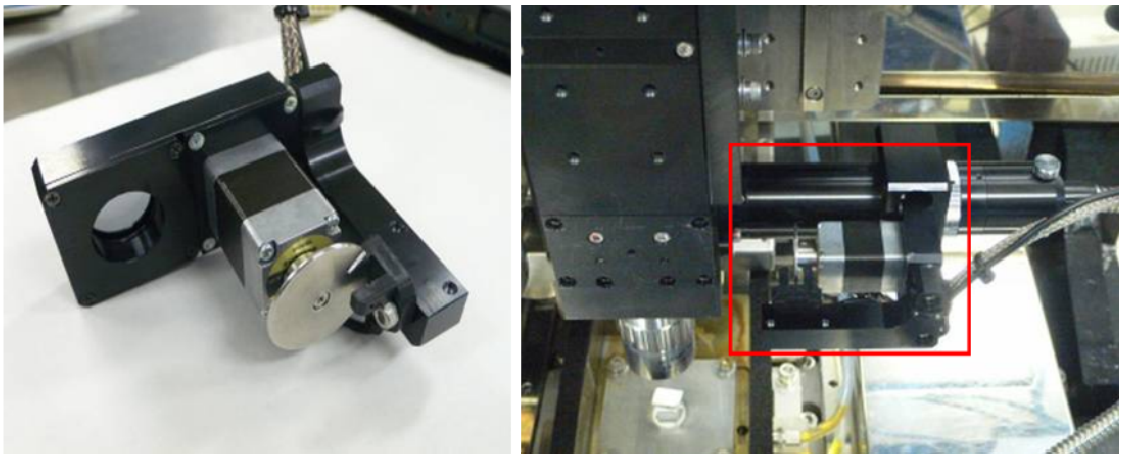


図 2-5-1 偏光フィルター回転機構

組織観察用カメラと偏光フィルター回転機構の制御インターフェイスを図 2-5-2 に示す。制御インターフェイスは、カメラの画像を目視確認しながら手動でフィルターを回転させる機能を持ち、連続観察時のフィルター回転角度を最大 12 ポジションまで設定することが可能で画像取り込みとフィルター回転を連動させることが可能な機能である。
対話型のインターフェイスを用いて、ユーザーの操作設定を容易にした。組織観察した写真を図 2-5-3、図 2-5-4 に示す。

図 2-5-2 組織観察用カメラと制御インターフェイス

図 2-5-3 **純鉄**

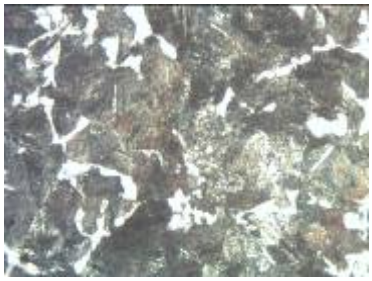


図 2-5-4 S45C

連続取得した組織観察画像データを順次整列して積層し３次元モデルとして表現する手法を開発して装置に搭載した。この３次元モデルはＸ・Ｙ・Ｚのそれぞれの方向から連続表示が可能で、金属の組織を立体的に観察できる。金属組織の取得画像を積層したモデルを図 2-5-5 に示す。

図 2-5-5 金属組織画像の積層モデル

２－５－３　技術課題と今後の取り組み

金属組織の観察は巣や異物の観察に比較して、より精細で安定した観察面の創生が必要である。これを実現する可能条件を蓄積していく。

２－６　ボクセルへのデータ取込技術の開発

２－６－１　研究開発の内容

生産現場で品質向上のために活用するには効率良く金属内部の構造を観察することが必要である。そのため、測定したデータを３次元モデルで可視化し、直感的に誰もがわかるようにすることが必要であり、介在している異物が何であるかをわかりやすく判断できることが必要である。そこで、取得した連続断面測定データを元に、巣や異物を抽出し、その属性を定義し３次元表現する処理技術を開発した。

２－６－２　研究成果

連続断面測定データを元にして、観察した部材の内部構造を 3 次元モデル内で表示する技術として（独）理化学研究所の VCAT を応用し、部材内部に介在する複数の材質を、それぞれ定義し識別するする方法を開発した。

連続断面測定から内部構造の 3 次元モデル内で表示までの処理の流れと取得した連続断面測定データを図 2-6-1 に示す。

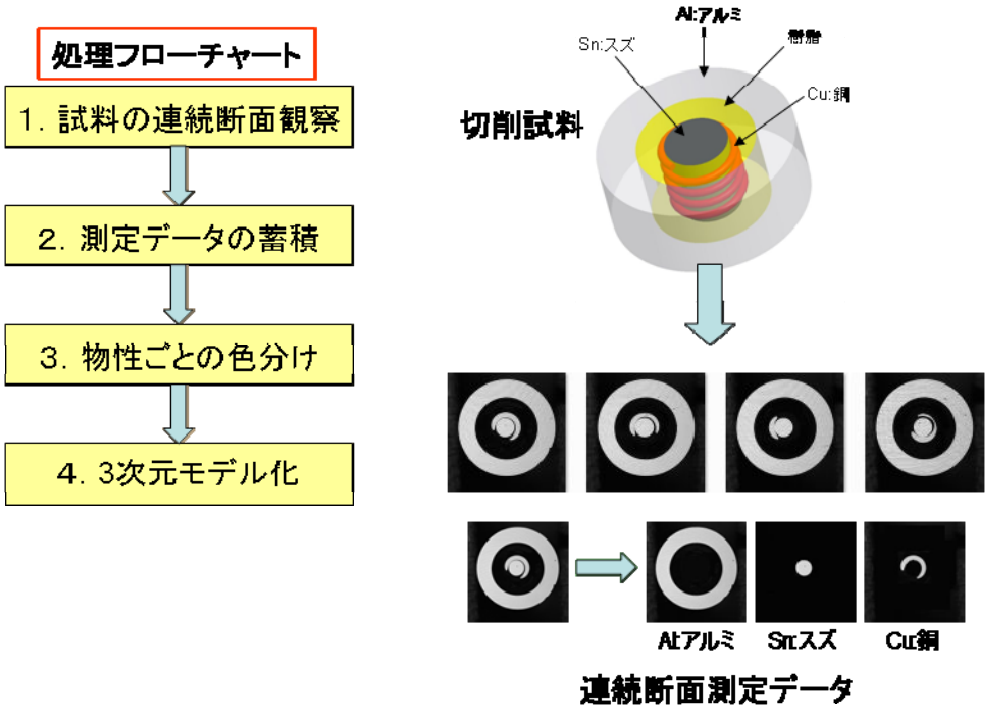


図 2-6-1 処理の流れと連続断面測定データ

連続断面測定データをもとに（独）理化学研究所の VCAT を用いて、材質ごとに定義し色分けし、3 次元モデル化したものを図 2-6-2 に示す。

これにより部材内部の属性を識別することが可能になり、3 次元モデルによる可視化と合わせて、誰でも直感的に判別することが容易になった。

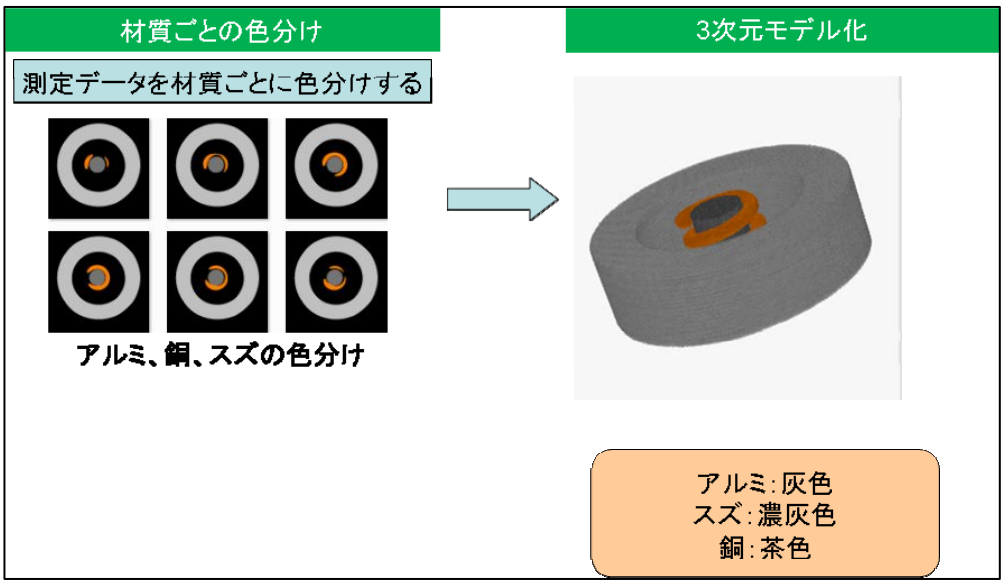


図 2-6-2 材質ごとの色分けと 3 次元モデル化

２－６－３　技術課題と今後の取り組み

観察した部品を材質ごとに色分けし、3 次元モデル表示を実現した。今後は、ユーザーが属性を定義し、活用しやすいシステムを検討する。

２－７　判定の自動化技術の開発

２－７－１　研究開発の内容

現場のユーザーが簡単に良/不良判定が出来るような、判定の自動化技術を開発する。具体的にはユーザーが設定した閾値を元に、ユーザーの指定した範囲内に存在する異物や、それらの位置関係を表現する技術を開発した。

２－７－２　研究成果

連続断面測定データを元にして、ユーザーが設定した領域や、異物の体積や表面積の閾値から、部材内部に介在する異物のデータを抽出する手段として、（独）理化学研究所の VCAT Properties を利用し、簡易操作で判別する機能を開発し、3 次元内部構造顕微鏡へ搭載した。連続断面測定データを 3 次元モデル化し、閾値を元にデータ抽出した結果を図 2-7-1 に示す。

取得した連続断面測定データには大きさの異なる多くのデータが存在しているが、判定基準となる数値を閾値としてユーザーが設定し、不要なデータを非表示にして、必要とするデータのみを抽出することを可能にした。表現するモデルが 3 次元モデルであるため、これらの操作も X-Y-Z の 3 方向から設定でき表現できる。

表現する領域を指定して、表現に不要な範囲を設定することも可能にした。X-Y-Z の 3 方向からの指定を可能にし、ユーザーが指定する必要な範囲のみを 3 次元モデルで表現することが容易になった。

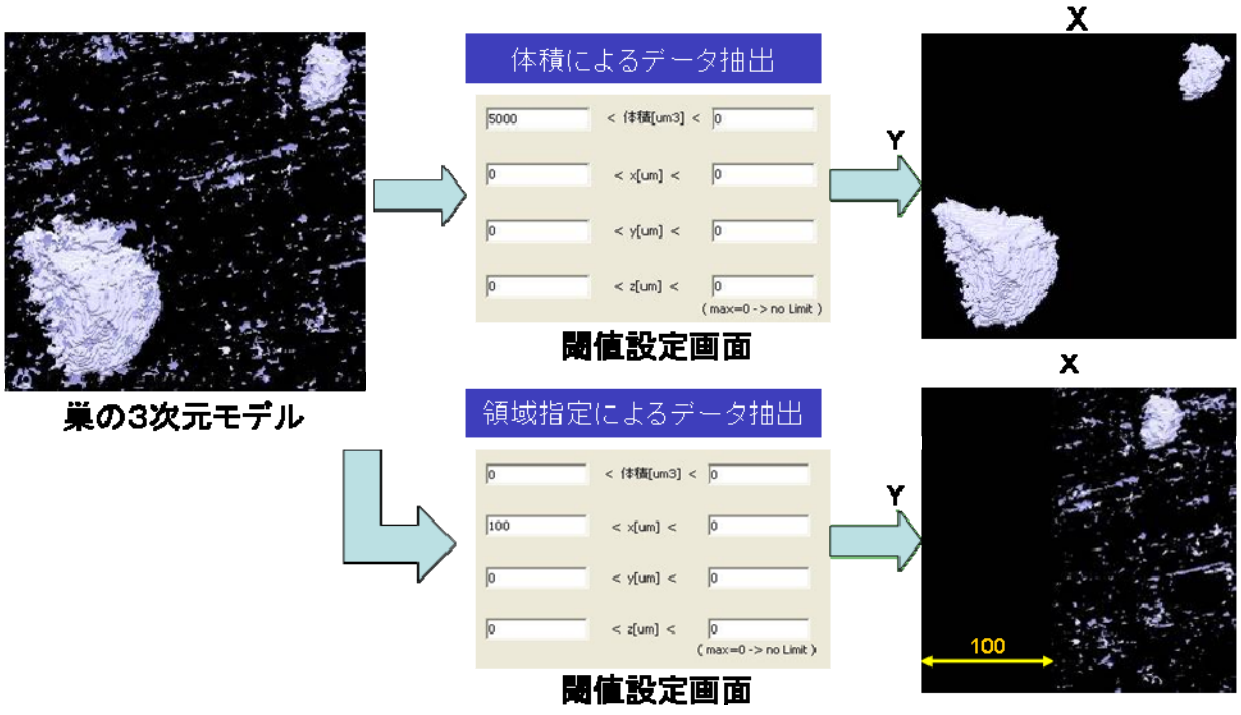


図 2-7-1 閾値を元にしたデータ抽出

２－７－３　技術課題と今後の取り組み

本研究で体積と領域によるデータ抽出を可能にした。今後は、データ抽出に用いる閾値の項目などを追加し、ユーザーが容易に良否判定できるように機能の向上を図る。

最終章 総括

本研究では平成２２年度に於いて金属の内部構造（存在する巣、異物等）を実用的分解能と処理時間で取得し、表現する技術を確立した。平成２３年度に於いては想定したユーザーや使用環境に於いて、実用的に使用できるシステムの構築と商品化に向けたユーザーインターフェイスや観測結果の表示の充実を行った。

その結果、今まで困難であった金属の内部構造を精密に取得し、3次元モデルとしてμmオーダーで表現するという鋳造部品の巣、異物の観察及びモデル化技術とそれを自動的に処理できる小型装置の開発に成功した。更に観察を必要とするユーザーの用途を考慮し、観察結果の数値化等、評価に関する自動処理機能や表示機能を充実させることが出来た。これらによって本研究結果の事業化に必要な技術開発はほぼ終了したものと考えている。加えて金属内部の巣や異物の観察のみならず、金属結晶組織の観察機能を開発し、搭載して自動的に金属結晶組織の３次元モデルを取得する事に初めて成功した事は特筆すべき事項で、事業化時に於ける用途を大幅に拡大したものと考える。

特に最終年度（平成２４年１月１２日、１３日）に於いて「鉄鋼材料の革新的高強度・高機能化基盤研究開発　第２回シンポジウム」の場を借りて来場者に本研究の成果概要と開発装置購入に関するアンケート調査を行った。搭載機能、想定価格、装置サイズ、処理に要する時間、分解能等の満足度は５割から８割の範囲で好意的な回答をいただき、更に回答者の８割を超える見学希望が有った。これによりユーザーの存在が明確になったが更に用途や観察対象については様々な回答が寄せられ、我々が想定した他に多くの用途が存在することが明らかになったことも特筆に値する。

本研究は高島産業（株）、（独）理化学研究所、（独）物質材料研究機構の共同研究であったが緊密で協調の取れた連携に依って順調な研究が行われ、もくろんだ成果を上げることが出来た。この結果を踏まえ、事業化に向けて早急に準備を進める所存である。事業化に向けてはソフトウェア使用権に関する取り決め等、製造・販売に向けた準備を進めると共に継続して市場調査を進め、機能の絞り込みや充実又は用途別機種の設定等、市場に受け入れられる商品仕様の決定を行う。また製品化の為、操作性、安全性、耐久性の更なる改良と検証を行い、市場投入可能な装置を完成する。（特により安定な観察面を得る為の加工スピンドルの改良と機会外からの振動影響の抑制に改良を付す予定である。）
事業化にあたってはユーザー希望者の中に切迫した課題を抱えながらも、購入して常用的な使用を必要としないニーズが存在する事も判った。この様な用途・ユーザーに対するサービスとして観察・データの供給等、分析・解析業務の受託事業の可能性も存在することが判明した。この様な事業形態も事業化案件に含め、早期事業化を目指す。　事業化スケジュールとして２４年度内には上記の準備を整え、展示会出展を経て発売することを目標とする。