地域に根差した脳波セルフコントロールによる集中力向上支援システムの開発

生産システム工学科　准教授　圓山　由子

1．概要

脳波の状態を音や映像としてフィードバックするバイオフィードバックによる脳波セルフコントロールは難治性のてんかん患者の異常脳波抑制をはじめとし,ADHD患者の衝動抑制及び認知機能向上に効果をあげている。しかしながら，従来のシステムによる治療は少数の病院や研究所でのみ実施され，一般の療育施設に普及していない。本研究では，従来使われている医療脳波計に代わり，より低コストで開発できる記録電極数を限定したオーダーメイド脳波計を用いた脳波セルフコントロールによる集中力向上支援システムを提案する。このシステムにおいては，脳波のフィードバックとしてタブレットを用いた脳波バイオフィードバックゲームを開発する。これにより，低年齢の患者も楽しく訓練を続けられ，支援者も患児の集中度合いを客観的に把握することが可能となる。

2．簡易脳波計を用いたシステムの開発～モチベーション維持の困難さ～

本課題では簡易脳波計として Backyard Brains 社製の Heart and Spiker Box(図 1)を採用し，脳波測定を試みた。開発当初はノイズが多く精度の高い信号が得られず，バイオフィードバックによる有意な活動変化を観測することができなかった。2020 年 10 月より 1 年間長岡技術科学大学電気電子情報工学専攻和田研究室に滞在し，医療用脳波計(Biosemi 社製)を用いた研究を行った。ここでの研究の目的は，バイオフィードバックにおいて最適な実験環境を検討することであった。記録においては，最初は最も安定して信号が記録できる C3 及び C4 を選定した。提示刺激は黒い背景に青の円が注目する脳波（アルファ波）の振幅の大きさに応じて変化する刺激を採用した。実験には和田研究室の学生と圓山が参加した。その結果，優位な結果となったのは圓山のみで(図 2, Kruskal-Wallis test: $P < 0.01$)，他の被験者は全て有意差が生じなかった($P>0.1$)。この結果の原因としては，モチベーションの有無が大きくかかわっているのではないかと予想した。実験時に何とか有意差を出そうと努めていた圓山に対し，実験結果の有意差の有無が報酬として反映されない学生にとってはモチベーションの維持が困難であったと予想される。先行研究において，難治性てんかん等重症疾患の患者群に有意な結果が多く現れたのは治療に対するモチベーションが高かったためと推測する。

図 1 Backyard Brains 社製の脳波計
Heart and Brain Spiker Box

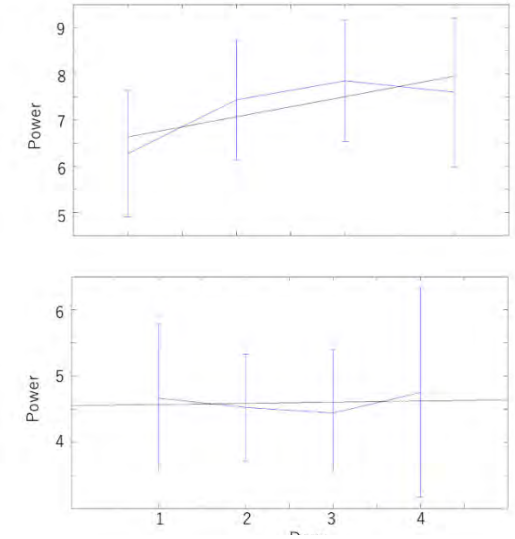

図 2 医療用脳波計を用いたバイオフィードバック実験のアルファ波の変化。
(上)有意な例（下）有意差がない例

3．今後の展望

これまでの研究により脳波計の精度以上に被験者のモチベーションが結果に大きく影響を及ぼすこと分かった。また脳波がもつ揺らぎが刺激に反映され，モチベーションの低下につながるとの意見もあった。当初はリアルタイムで脳波の状態をフィードバックし，脳波の増強を期待するシステムの構築を目指していたが，今後はできるだけ短時間の記録で，完全なリアルタイムでなくともフィードバックの効果を得られる手法について検討を行っていく。

アフリカ諸国における数学のメタファーの解明

一般系　准教授　須藤　絢

1．概要

数学的概念の中には，実際の事象や経験を例えに用いること，言い換えるとメタファーが必要不可欠な単元がある。しかしながら，数学学力の向上が喫緊の課題となっている開発途上国において，メタファーを軸とした研究はなされてこなかった。このような中，本研究ではメタファーを必要とする抽象的概念である正負の数と加減を取り上げ，アフリカ諸国の低い数学学力の一端にメタファーが機能していないという仮説のもと調査を実施してきた。その過程で，実際の事象や経験を例えとすることに加え，数を直線上の点とみなすメタファーが計算技能の習熟度に大きな影響を与えていることが分かってきた。そこで，本科研費での研究では，計算技能の習熟度別に，それぞれがどのように数を捉え，直線上の点としてみなすことが出来るのかを明らかにすることを目的としている。また，これまでの一連の研究と合わせ，計算技能の習熟に必要なメタファーを明らかにし，アフリカ諸国の低い数学学力の向上に向けた方法を模索するものである。

2．研究内容

本研究は，調査紙による現地調査とインタビューによる現地調査を基本としている。調査紙は，正負の数の加減の計算テスト，数直線上の数の見積もり方に関する項目からなり，それらの結果をもとに幾人かの生徒にインタビューを実施，調査紙からは分からない数の捉え方を明らかにするものである。調査紙による計算テストの結果では同じようなスコアである生徒であっても，数の捉え方は大きく異なる場合がある。例えば，以下の図 1.2 の生徒の計算テストのスコアは低く，同じであったが，数直線の見積もりには大きく差があった。図 1 の生徒の見積もりは概ね正しいのに対し，図 2 の生徒の見積もりは全く正しくない。では，どのような数の捉え方がこのような違いを生むのか。このように調査紙では分からない部分に関してのインタビュー調査を実施した結果，図 1 の生徒は矢印 B を半分や真ん中といったように捉えることが出来るのに対し，図 2 の生徒は左端や右端（0 や 100，1000）から自分の尺度でひたすら数えるといったことが明らかになった。さらに，正負の数の加減の単元の実験授業を実施した結果，図 1 の生徒の正答率は大きく上昇し，図 2 の生徒の正答率はほとんど上昇しないことも分かった。

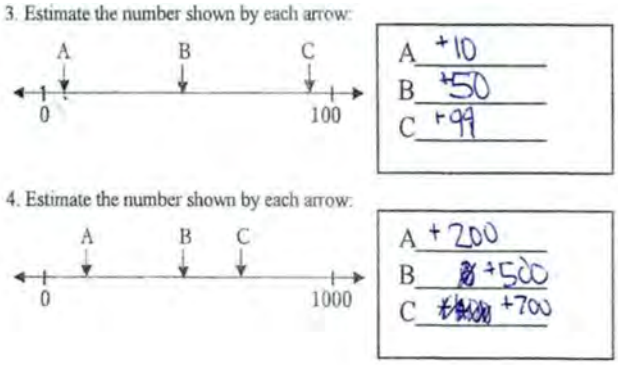

図 1. 見積もりが正しい生徒の回答例

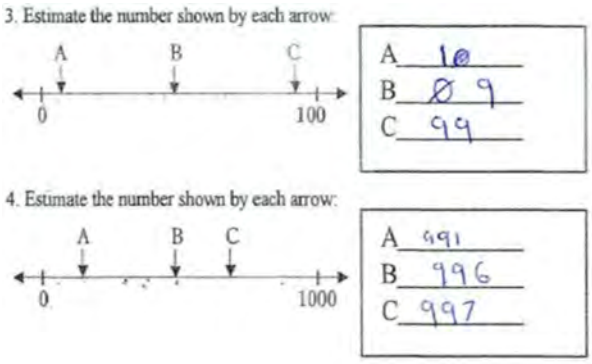

図 2. 見積もりが正しくない生徒の回答例

3．研究成果

本研究の成果として，直線上の数の見積もりが正確な生徒は，そうでない生徒に比べて授業に対する理解が早いことが分かった。言い換えると，数を直線上の点と捉えるメタファーを有している生徒は授業により計算技能が向上する可能性が高いが，メタファーを有していない生徒は授業を理解できず，計算技能の向上に大きな課題があるのではないかということが明らかになった。このような数直線の見積もりに関して，発達心理学の分野では心的数直線という名称があり，見積もりは幼少期から少しずつ正確になっていくことが多数報告されている。これらのことから，本研究での成果の一端として，これまでアフリカ諸国においては研究されてこなかったメタファーの有無や，心的数直線の未発達などという根源的な問題点がある可能性を示唆することができ，以下の論文や国際会議論文として採択された。

・“Metaphors & Errors in Calculation Skills of Integers in Zambian Learners”. Zambia Journal of Teacher Professional Growth (ZJTPG).
・“Estimating Number Line as a Cause of Low Mathematics Performance in Zambia”, 2022 7th International STEM Education Conference (iSTEM-Ed)

近世アイヌ社会の景観復元と教育への展開

社会基盤工学科　准教授　佐々木　恵一

1．概要

本研究は北海道東部の釧路市に焦点を据え，近世の釧路川下流域の景観を復元することを通じて，アイヌと和人（日本人）との共生のあり方を明らかにし，この成果を基にした体験的な学びを実現することをめざす。本研究が手がかりとするのは，江戸時代に多く構築され，現在もその跡が残っているチャシ（砦）と，和人の交易・支配の拠点であった場所（後に会所と呼ばれた）である。アイヌの人たちは，なぜチャシを築いたのか，チャシを何に使ったのか，チャシをめぐる争いはなぜ起きたのかなどに着目すると同時に，場所とチャシの関係について文献史料・伝承と考古学資料を組み合わせながら検討する。この研究を通じてアイヌと和人とがどのように共生していたのかについて，見える化する。また明治維新後の景観の変化までを見える化することにより，アイヌ社会にとっての近代化を具体的に提示する。

2．研究内容

アイヌ社会の景観復元を行う場合，手がかりとなるのは，まず江戸末期から明治・大正期に作成された地図である。江戸期のものとしては，伊能忠敬『日本輿地全図』と松浦武四郎『東西蝦夷山川取調図』が代表的である。明治以降の地図には，明治初年のお雇い外国人ベンジャミン・ライマンの作成した地図がある。また明治 41 年(1908)の陸軍陸地測量部の作成した地図があるが，両者とも釧路市の部分が現存しているかについては，確認できていない。現存しなければ，大正 11 年(1922)の地図を用いる。これら古い地図をもとに当時の景観復元を行う。

さらに，チャシは，アイヌ史・アイヌ文化を学ぶ上で必ず扱われる事項である。チャシは砦といわれているが，祭祀の場や資源管理の拠点などという説もあり，その性格はわかっていない。チャシは北海道東部を中心に分布し，現在 514 ヶ所のチャシが確認されている。しかし，発掘されたチャシが僅かしかないため，出土遺物を通じた実態の解明は進んでいない。また都市周辺のチャシには，高度経済成長期の開発行為で破壊されたものが多く，この点がチャシの実態解明についての一つの障害となっている。チャシは内部を壕で区切る構造をしているが，縮尺が大きい地図では壕が復元できないため，壕を復元できる精度の詳細な三次元データを測量し，3 次元モデルにより復元を行い，遺構として保存を行う。

3．研究成果

チャシの3次元点群データを計測し，3次元モデルを作成した。このモデルから，チャシ上に人工的に土地を造成した部分を明らかになった。また，チャシの横断方向，縦断方向の正確な寸法の測定や，断面面形状を明らかにすることが可能となった。現地視察でも壕の存在は確認できたが，その全体像は把握できなかったが，測量結果より，壕を含めたチャシの全体像が明らかになった。

収集した資料をもとに教材化の検討と，文献史料の調査を継続する。社会科教育の教材化に関しては，高等学校の「総合的な探求の時間」等を利用し，地域連携を進めていく活動において，地域に関する学習素材として提供する。これらの史跡の活用を，高校生が主体的に考えていくようなコンテンツを提起する。そして学校教育でのICT教育への取り組みの中で，近世北海道の景観をGIS上に展開し，授業で使う際の指導案の作成を行う。

金属ガラス主成分元素をターゲットとした超高温液体の高確度構造解析

物質環境工学科　准教授　水野　章敏

1．概要

1960 年代に Au-Si 系アモルファス合金が発見されて以来，金属ガラス形成能と液体構造との関連は長らく取り組まれている課題である。しかし，実用的なバルク金属ガラスの多くは３成分以上の合金であり，その液体構造を広範囲な組成で実験的に決定することは困難をきわめる。近年，液体金属の物性や理論モデルを入力として機械学習を援用した金属ガラス材料開発が急速に進んでいる。したがって，液体構造を機械学習における訓練データとしてガラス形成能を予測することが将来的には重要になると見込まれる。しかし，金属ガラスの主成分元素は 2000 ℃を超える高融点金属が多く，合金だけでなく，単成分の液体構造でさえ整備が不十分である。また，高融点金属の液体構造情報は，金属ガラス開発以外にも理論や数値シミュレーション結果の確証を得る上でのニーズがある。
そこで，本研究では，金属ガラスの主成分元素を主な対象とし，高融点金属の高確度液体構造解析を実施することにより，液体構造情報を整備することを目的とした。

2．研究内容

本研究では，3000 ℃を超える高融点金属液体について，図１に示すように無容器法と放射光 X 線を用いて取得した構造データを精確に解析し，液体構造情報のデータベースを構築する。また，逆モンテカルロ法(RMC 法)を援用して抽出した液体構造の３次元原子配置について，パーシステントホモロジーをはじめとした幾何学的解析手法を適用し，体構造の特徴量抽出へ活用する。さらに，第一原理計算を援用した原子間相互作用の決定より，エントロピーや内部エネルギーをはじめとした熱力学的諸物性と金属融体構造の相関性を明らかにする。

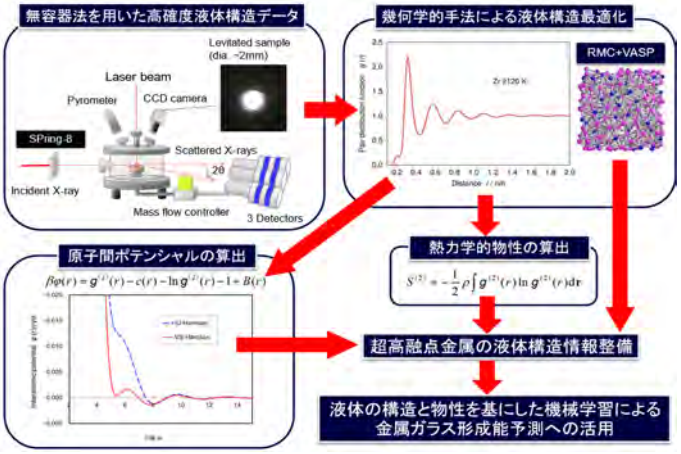

図１　本研究内容の概略図

3．研究成果

構造解析実験を行った元素の中から，最も融点の高いHf（融点：2506 K）についての結果を代表して以下に述べる。放射光Ｘ線回折実験により取得した構造データを再現するようにRMC法により取得した原子座標に対して，幾何学的解析手法のひとつであるボロノイ多面体解析を行った結果を図2に示す。グラフの横軸はボロノイインデックスと呼ばれ，正二十面体型配置をとるインデックスのみを抽出して，その頻度分布を示した。最も左側が正二十面体のインデックスである（0 0 12 0）であり，右へ行くにつれて正二十面体がひずんだ多面体となる。液体のため，正二十面体は少ないが，ひずんだ二十面体が多く形成されていることがわかり。このような傾向は，本研究で主な対象とした金属元素の液体構造において同様に見られた。本研究成果は，下記の学会において公表した。

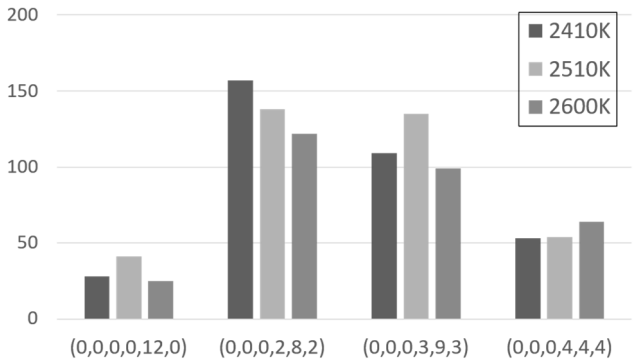

図２　ボロノイ多面体解析による液体 Hif の正二十面体型配置をとる構造の分布

水野章敏，寺門修，鎌田アハメッド，尾原幸治，正木匡彦，小原真司，“金属ガラス主成分元素の融体構造と熱物性との関連”，日本熱物性学会，第43回日本熱物性シンポジウム，2022年10月26日，オンライン開催

過疎豪雪地域での災害防止に向けたマイクロ波自動融雪システムにおけるデータ・動力・発熱への同時利用によるマイクロ波高効率活用の研究開発

生産システム工学科　教授　丸山　珠美

１．研究開発の背景と経緯

近年電気自動車（EV）の走行中無線給電の研究開発が盛んとなっています。これに対して，本研究は，科学研究費（17K06452）において，地面に埋め込まれたマイクロ波融雪装置から放射される電波を EV 走行中無線給電に利用することを提案したことから始まりました。本科５年の学生が卒研において，導波管をサーキット型にしてその上で EV 模型を走行させる手法を提案しました。サーキット型導波管は，従来に無い新たな構造であり，電波を重畳させて電力を強くする効果や，少ない電源装置で広いエリアを融雪することが期待できます。このアイデアは，電子情報通信学会におけるワイヤレス電力伝送コンテストで優秀賞を受賞しました。この結果を元に研究計画をたて，ワイヤレス電力伝送の丸山，マイクロ波の中津川教授，除雪ロボットの中村准教授，遺伝的アルゴリズムによる最適設計を実施する旭川高専，レドームを最適設計する秋田高専，右手左手系（CRLH）導波管の津山高専と高専ネットワークで共同研究を行ってきたメンバーを分担者として，申請し採択されたのがこの SCOPE フェーズⅠとなります。

２．研究概要

過疎豪雪地域での災害防止を目的とし，除雪および融雪の自動化を実現するため，(1)マイクロ波加熱による融雪方法として給電点から放射された電波が管内を一周してもとに戻るサーキット型導波管を考案し，従来の直線型導波管は給電点から離れるにつれて電磁界が小さくなるのに対して，本サーキット型導波管は，電磁界の大きさのばらつきが少なく，電源一つで面状のエリアを融雪できることを明らかにしました[1],[2],[3]。遺伝的アルゴリズムを用いて，融雪用の電波が放射される導波管上のスロット配置を最適化しました[4]。2.4GHz 帯融雪用導波管を右手左手複合 CRLH 導波管にするための構造を解析設計により明らかにしました[5]。(2)マイクロ波を用いたワイヤレス電力伝送により，導波管上を走行するトロッコ模型を製作し，走行実験に成功しました[6]。融雪効率とワイヤレス電力伝送効率を同時にあげるレドーム構成を，トポロジー最適化手法を用いて明らかにしました[7]。本研究成果はその後招待論文として掲載されました[8]。(3)電力とデータの同時送付と融雪を一つの導波管で実現するため装置構成を検討し，2.45GHz 帯マイクロ波融雪用スロット付き導波管に無線 LAN AP の出力を供給した場合のデータ通信の確認実験を計画し，システムの設計を行いました。青森市にマイクロ波融雪設備を構築し融雪効果を函館から Web カメラで監視する通信実験システムを構築し融雪実験に成功しました。SCOPE フェーズⅠの検討期間はわずか１年でしたが，この間に投稿した査読付き国際会議は翌年全て採択され発表を行いました。これらの研究は 2022 年度スタートアップエコシステムの GAP ファンドに，2023 年度は，チャレンジフィールド北海道の推進計画にそれぞれ採択されました。

３．研究成果

[1] T. Maruyama, S. Kasai, K. Shibata, M. Omiya, M. Nakatsugawa, and Y. Tamayama, “Novel circuit-shape leaky wave waveguide for microwave snow melting,” in Proc. 2021 International Symposium on antennas and propagation, ISAP 2021, Taipei, Taiwan, Oct. 2021. （2021 年 10 月 22 日）

[2] Y. Kanaya, M. Nakatsugawa, T. Maruyama, M. Omiya, Y. Tamayama, “FDTD Analysis on WPT Efficiency Between Circuit-Shape Leaky Waveguide and λ/2 Dipole Antenna for Snow Melting Application,” in Proc. ASIAN WIRELESS POWER TRANSFER WORKSHOP 2021, AWPT2021, S5-06, Kuala Lumpur, Malaysia, Dec. 2021.（2021 年 12 月 13 日）.

[3] K. Shibata, T. Maruyama, M. Nakatsugawa, Y. Tamayama, T. Yamamoto, M. Omiya, K. Ohshima, M. Muramoto, K. Ito, T. Nakamura, Y. Nasuno, “Wireless Power Transmission Efficiency of dipole array antenna using a Left-Handed Waveguide Slot Antenna as a Feeder,” in Proc. ASIAN WIRELESS POWER TRANSFER WORKSHOP 2021, AWPT2021, S4-07, Kuala Lumpur, Malaysia, Dec. 2021.

[4] 大島 功三，　有働 明未，村本 充，奈須野 裕，丸山珠美，中津川征士，中村尚彦，伊藤 桂一，山本綱之，大宮学，玉山泰宏“マイクロ波融雪のための導波管スロット最適化に関する一検討,”2022 電子情報通信学会総合大会, b-20-5, p.5（オンライン）2022 年 3 月.

[5] 戸川慶人，山本綱之，丸山珠美，中津川征士，中村尚彦，伊藤桂一，村本　充，奈須野　裕，大島功三，大宮学: “マイクロ波融雪システムへの利用を想定した右手/左手系複合導波管における給電位置と放射特性に関する一検討,” 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 121, no. 414, WPT2021-41, pp. 89-92, 2022 年 3 月.

[6] 中村尚彦，西川 詩音，古川涼子，丸山珠美，中津川 征士，小林房昭，“マイクロ波自動融雪システムにおける融雪アシストロボットの開発,”第 22 回　計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会，２G1-04，2021.（2021 年 12 月 16 日）

[7] 伊藤桂一，飛沢瑠伽，丸山珠美，中津川征士，中村尚彦，村本充，奈須野裕，大島功三，山本綱之，大宮学，玉山泰宏，“融雪を目的とした導波管スロットアンテナ用レドームの解析と設計”，第 30 回 MAGDA コンファレンス in 広島（MAGDA2021）～電磁現象及び電磁力に関するコンファレンス～（オンライン）（2021 年 12 月 6 日）

[8] 伊藤桂一，丸山珠美，中津川征士，中村尚彦，村本充，奈須野裕，大島功三，山本綱之，大宮学，“NGnet を用いたマイクロ波融雪システム用モルタルブロックのトポロジー最適化,”玉山泰宏電子情報通信学会論文誌，Vol.J106-C,No.5,pp.164-171 2023 年 5 月.

他，口頭発表　９件

５軸制御工作機械における推定工具形状を用いた高品質主軸傾斜加工法の開発

生産システム工学科　教授　山田　誠

１．概要

金型加工の仕上げ加工において，その形状の複雑さから，そのほとんどはボールエンドミルを用いた３軸制御NCフライス加工により製作されてきた。この金型加工における３軸制御加工の問題点として，図１(a)に示すように，段取り替えなしに工具ホルダの干渉を回避するためには，長い工具突き出し長を必要とすること，また，切削速度を適切にできないことなどがあげられている。これらの問題を解決するために，図１(b)に示すように，５軸制御による主軸傾斜加工が有効である。しかしながら主軸傾斜加工において，特に，工具姿勢を変更した際に，変更前の加工面との境界に面性状（面品位），あるいは，仕上げ面高さの差異が生じるという問題があり，その現象の解析は十分ではない。そこで本研究では，種々切削様式の違いによる加工面を再確認し，オンマシン計測による加工面計測結果を基に，全ての誤差を工具形状に集約した推定工具形状を導出し，姿勢変更時の補正工具経路を作成し，検証加工を行うことにより，高品質な加工の可能性を探ることを目的とした。

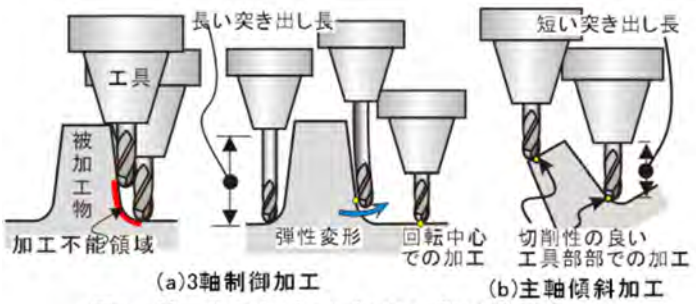

図1　ボールエンドミル加工における差違

２．研究内容

主軸傾斜加工では，工具の送り方向により上向き削り(UpCut)と下向き削り(DownCut)，ピックフィード方向により工具中心が逃げる方向(逃げ方向Pf)と向かう方向(向かいPf)とがある。その組合せによる４種類の切削様式を，それぞれ，次の手順で実施した。

1) 図２(a)(c)のように，５軸制御工作機械で，一定間隔で工具姿勢を変化させる主軸傾斜加工によりテストピースを作成，2) 図２(b)(d)のようにレーザー変位計を用いて，加工テストピースを各姿勢での加工面の変位を機上測定，3)測定値から機械の回転軸間のずれを推定し，第一補正加工を実施し，さらにその結果から推定工具形状を導出，4)その推定工具形状を基に，目的形状の工具経路を作成し最終補正加工により検証する。

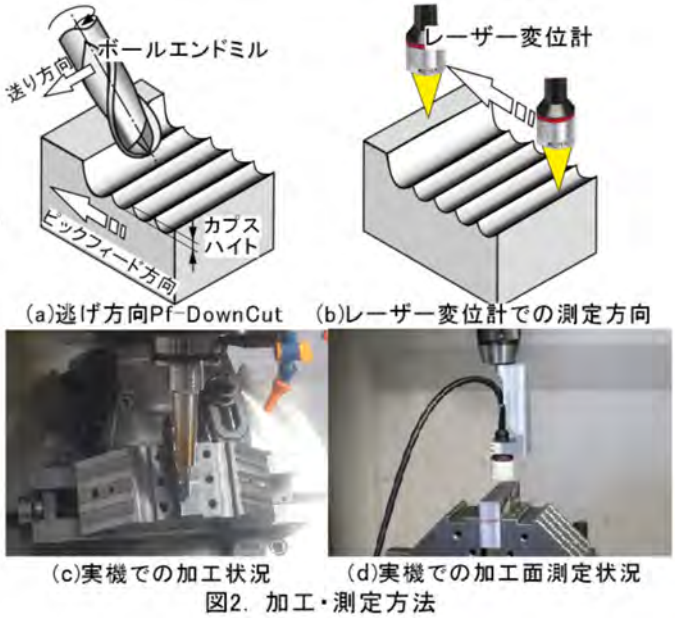

図2. 加工・測定方法

３．研究成果

4つの切削様式により主軸傾斜加工を実施した結果，今回の実験条件(工具径R5，主軸回転数9600min-1，送り1900mm/min，Pf量0.2mm，切り込み0.1mm)において，逃げ方向Pf-DownCutでの加工様式が最も安定した加工面を得られた。

図3(a)は，傾斜角が0°から60°の補正加工前，第一補正，および最終補正における加工面のプロファイルを示し，同図(b)はその傾斜角が20°から40°の拡大図を示している。この特に30°から40°における加工においては，非常に安定した加工面が得られており，今回の補正加工において，その数値としては，ほぼ段差が無い加工面が得られた。また，今回の加工条件において，理論カプスハイトは約1μmである。この切削様式において，オンマシン計測による加工面の計測(1200点/0.2mm)から推定工具形状を導出することにより，今回の実験条件において，工具姿勢変化時もほぼ段差無しでの加工が可能できることを示すことができた。

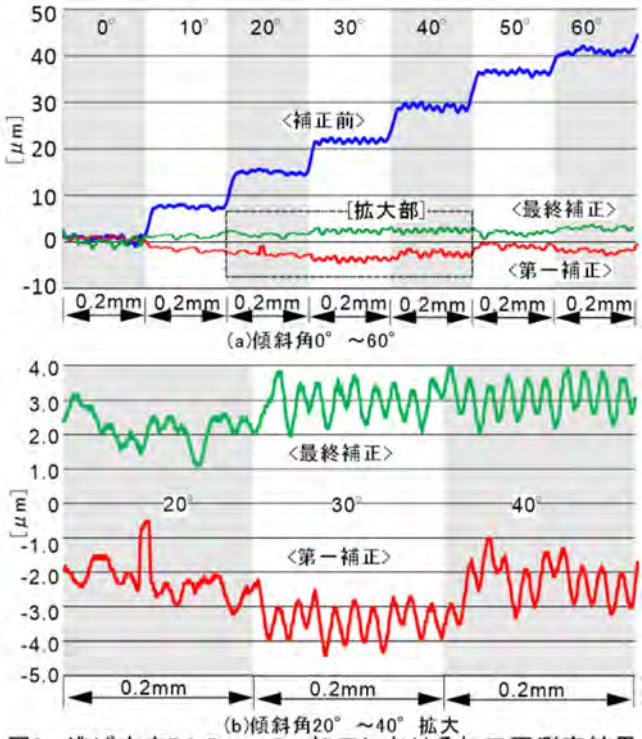

図3. 逃げ方向Pf-DownCut加工における加工面測定結果