

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 31 日現在

機関番号：52601

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22360110

研究課題名（和文） 蚊ロボットの実現を目指した無痛自動採血用の微細柔軟針の開発

研究課題名（英文） Development of a flexible thin needle for automatic painless blood sampling mimicking a mosquito

研究代表者

齊藤 浩一（SAITOU HIROKAZU）

東京工業高等専門学校・機械工学科・教授

研究者番号：00205668

研究成果の概要（和文）：

本研究では無痛採血の実現を目指し、蚊の口針を模擬した柔軟な複合微細針の加工製作に取り組んだ。特に微細な複合針を精度良く加工するため、針部材を予め完成形態に組み上げた形状で保持加工できる冷凍チャックシステムの開発に注力した。開発したシステムは針部材を埋包した冷却溶媒を-100℃に凍結固定し、20N以上の把持強度を有した。また極低温下では発生したバリの転移抑制効果により針表面の平滑度の向上に有効であった。

研究成果の概要（英文）：

In this study, to achieve painless blood sampling, a fabrication method of a needle mimicking mosquito proboscis was developed. The needle obtained burr-less surface by the fabrication method with a freezer chuck mechanism that could keep the fabricated form of the needle parts.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2011年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2012年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
総計	4,100,000	1,230,000	5,330,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・知能機械学・機械システム

キーワード：自動採血，冷凍チャック，スターリングクーラー，蚊

1. 研究開始当初の背景

臨床において血液は重要な生化学情報源であるが、採血は針穿刺による疼痛や恐怖といった精神的苦痛を与える。また現場では人手不足や採血針の取り扱いミスによる感染の問題を抱えている。このため無痛かつ自動で行える採血法が望まれている。

そこで今日注目されているのが微細な針を用いた採血法である。例えば蚊は外径 50～100μm の微細で柔軟な口刺針を用いて吸

血を行う。また鍼灸では外径 200μm の鍼が治療に用いられている。すなわち 200μm 以下の外径だと、神経の刺激閾値以下となり無痛採血が可能となる。

(1) 微細針を用いた無痛採血の試みは堀池（物材研）らのヘルスケアチップを始め、山越（金沢大）らの血管探査・採血デバイス、米国 Kumetrix 社のシリコンマイクロニードルなどが報告されている。しかしながら微細な針は座屈・破断しやすいため、

特に安全面での課題がある。

- (2) そこで我々は蚊の口刺針モデルを用いた穿刺実験において、針を約 10Hz の鋸状振動を与えると穿刺力が半減することを報告してきた。生体組織への振動穿刺においてはプリマテック（株）によりナノオーダーの厚さの細胞膜への穿刺装置が市販されているが、我々はミリオーダーに達する皮膚・血管に適用し、有効な振動波の形状と周波数と振幅の検討を行った。
- (3) 更に採血針を蚊の口刺針のような多重管で構成することで穿刺力の減少と座屈限界の向上を図った。
- (4) 血管穿刺の自動化は英国インペリアルカレッジのグループがファントムを用いた血管位置の探索と穿刺実験を行っている。我々は個体差のある動物実験において歪みゲージによる穿刺力計測や針内電極を用いた血液検知により血管への自動穿刺を実現している。さらに血液成分の検知に対応できる薄膜電極や酵素を電極膜上に成膜・固定化する技術を開発してきた。

2. 研究の目的

本研究の目標は血管を自動穿刺し、血液成分の定量を行える微細で柔軟な針を開発することである。この目標を達成するため、微細多重針の先端を微細加工するための把持方法の開発に取り組んだ。

微細で柔軟な針の部材（例えばシリカ樹脂やポリスチレン樹脂）を研削加工する場合、加工具の押し当てによる弾性変形のため精度が得られない。そこで加工部に充填した溶媒を凍結して柔軟な針部材を固定化し、凍結溶媒と共に先端を研磨することで高精度な針先を加工する方法を開発すると共に、最適な加工条件を明らかにすることとした。

本研究で得られる成果の応用として採血時の針穿刺の無痛化により、被検者の QOL 向上、採血者の血液感染の防止、手技の巧拙に依存しない安全な採血・検査が可能となる。特に毎日の採血が必要な糖尿病患者の在宅検査や乳幼児を対象とした血液検査、さらにはマス・スクリーニングが必要な血液検査などに広く寄与されると期待される。

3. 研究の方法

蚊の針はキチン質で構成されるが、外径 50 μm の針では理論上の座屈限界を超え、針の軸方向以外の加重により容易に座屈する。そこで本研究では

- (1) 市販注射針のような高剛性の針ではなく、むしろ柔軟な針でも確実に血管を穿刺でき、採血や血液成分の計測を実現する方法を追求する方法を検討することとした。
- (2) 蚊の針を模擬した微細針を開発する。蚊の口刺針は内外に多重化しているだけでな

く、先端に 10 μm 程度の歯を有した一対の針を内包している。この針が交互に振動することで、生体組織の弾性変形を抑制し、穿刺効率を向上させる。本研究では 50 倍のスケールモデルを作成し、その動作挙動を計測した。

- (3) 柔軟な部材を溶媒で埋包して凍結することで部材を固定化し、更に凍結溶媒と共に部材を研削加工することで高精度な加工を実現することとした。分割された多重分割針の部材を予め完成形体として一体加工でき、個別の針の加工誤差と加工後の組み上げ誤差の解消を試みた。

具体的にはまず初年度に部材のチャックシステムのプロトタイプを試作し、予備実験にて凍結チャック部の設計指標を検討した。次年度以降は前年度に得られた設計指標に基づき極低温凍結チャックを設計・製作した。そして製作した極低温凍結チャックを用いて柔軟な多重針を製作し、針先加工の把持条件特性の評価を行った。極低温凍結チャックの製作と微細針の加工においては

- ①アルミ等の金属ブロックに樹脂素材を装着後、冷凍溶媒（純水等）を充填し凍結した。
- ②申請備品のスターリングクーラー式冷凍機（冷却能力：173K、図 1）を用いた極低温冷凍チャックを製作した。
- ③研削加工には所有の汎用研削具（ルーター）を用いた。



図 1 スターリングクーラー式冷凍機

- ④冷却された氷は温度 200K でアルミニウム程度の強度が得られる。注射針の先端研磨においてはバリの処理が課題であるが、「強固な冷凍溶媒に埋包して部材表面を固定」することと「冷却によるヤング率の増大」によるバリ発生を抑制を試みた。本

研究では外径 1.5mm の樹脂針を製作し、冷却温度と把持特性の関係を明らかにし、加工条件の設定を行った。

4. 研究成果

初年度はまず極低温冷凍チャック開発の基礎実験としてペルチェ素子を用いた冷凍チャックシステムの製作を行い、部材のチャック方法、部材のチャック強度、冷凍機の断熱方法等の基礎的検討を行った。製作した冷凍チャックの冷却部は円筒形にくり抜かれたアルミブロック形状で、その周囲を熱伝達率 0.17~0.19W/mK のポリプロピレン樹脂のブロックで覆った。円筒形の冷却部内には加工部材を固定する V 字型ガイドを有し、凍結溶媒を充填後、凍結固定した。部材加工の際は溶媒と一体化した円柱形部材を冷凍ブロックからせり出し、溶媒ごと電動ルーターにて研磨加工を行った。本冷凍チャックは円筒冷却部を回転させることで針先端の円錐加工を可能とした。

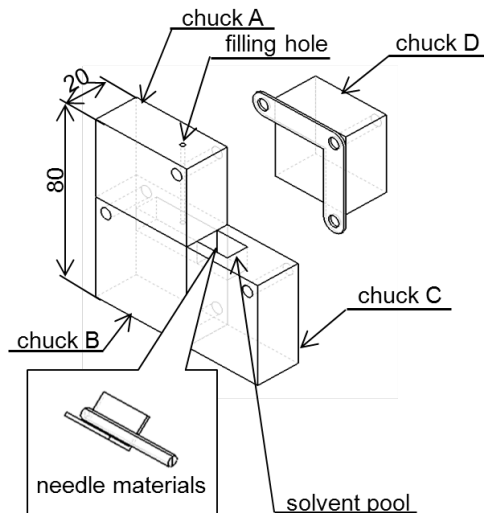


図2 冷凍チャックの構造

凍結した溶媒の剪断負荷試験を行った結果、固定温度 -5°C のとき、48Nの負荷(剪断応力 0.95MPa)に耐えることが確認された。また要求備品のスターリングクーラー式冷凍機(冷却能力: 173K)に温度制御回路、電源を取り付け、動作確認が行えた。

次年度は前年度行ったペルチェ素子を用いた冷凍チャックの基礎実験結果を踏まえ、スターリングクーラー式冷凍機(冷却能力: 173K)を用いた極低温冷凍チャックシステムの製作と評価を行った。チャック部はアルミ製の4つのブロック部品から成り、これらを組み合わせることで内部に溶媒槽を形成した。溶媒槽内にはV字の固定治具を配して針部材を載せ、溶媒槽に溶媒を満たし、針部材を凍結固定した。凍結固定後はブロックの一

部を外して部材を露出させ、針部材を凍結溶媒ごとルーターで加工した。チャックの固定力評価のため設定温度 -100°C において露出させた溶媒の露出基部から10mmの距離の点をバネ秤にて垂直方向に負荷を与え、溶媒が破壊した際の最大負荷を測定した。その結果、凍結溶媒の強度は1MPa以上の強度があり、20N以上の把持強度を有した。実際に加工する際の負荷は10Nに満たないため、十分な把持力であることが確認できた。

次に実際に複数の針部材を冷凍チャックで固定し、同時に加工が可能かを確認するため、直径1mmのスチロール樹脂製半円柱を一对組み合わせ、設定温度 -50°C 、 -100°C にて凍結固定してルーターにて研磨加工を行った。その結果、両設定温度においても加工部材が剥がれることなく研磨加工が可能であった。また加工面にはバリの発生が確認されたが -100°C においてはその発生が著しく抑制できた。スチロール樹脂は低温なほど硬度が増すが、 -50°C では部材が加工熱で溶けやすく、加工面にバリとして切粉が付着したと考えられる。加工面を滑らかに仕上げるためには溶媒全体を金属で覆い熱伝導率を高め、覆い材や冷凍溶媒と共に部材を加工する加工時の熱の発生を抑制できると考えられる。

最終年度は前年度までに開発したスターリングクーラー式冷凍機(冷却能力: 173K)を用いた極低温冷凍チャックシステムにおいて、部材加工時に発生するバリの抑制を試みた。柔軟性を有するスチロール樹脂を針母材として用いる場合、スチロール樹脂は低温なほど硬度が増すが、加工熱で加工面が溶融するとバリとして付着しやすかった。そこで溶媒全体を熱伝導性カバー(アルミニウム製、10mm角、長さ40mm、厚さ0.8mm)で覆うことで研削加工時に発生する熱を積極的に冷却部に誘導し、冷却効果を向上させた。針部材の加工は熱伝導性カバーと固定溶媒ごと研削し、バリ発生抑制効果の評価を行った。

冷凍チャック(アルミニウム製)内に溶媒(蒸留水)を満たし、直径1.5mmの半円柱スチロール樹脂を2個組み合わせて円柱状に形成し、ルーターで先端を斜め(30度)に研削加工した。熱伝導性カバーの有無各5例の研削実験の結果、カバー無しの場合には研削部表面のバリの平均個数は160個、平均高さは25.3 μm であり、カバーありの場合にはバリの平均個数は56個、平均高さは115.5 μm であった。カバー無時には研削により発生した切粉は表面に融着しやすいが、カバー有時は表面が十分に冷却されているため融着せずに端部まで移動し、凍結溶媒との境界に積層したものと考えられる。このバリは端部を軽くさらうことで除去が可能であった。

本冷凍チャックは針部材を -100°C に凍結固定し、20N以上の加工負荷に耐えて保持が

可能であり、柔軟な素材で複数の部材から構成される多重複合針を最終的に組み合わせた状態で保持加工することで、再組立の工程を簡易化すると共に組合せ精度を維持できる一体加工が可能であり、蚊ロボットの実現の要素技術として期待された。

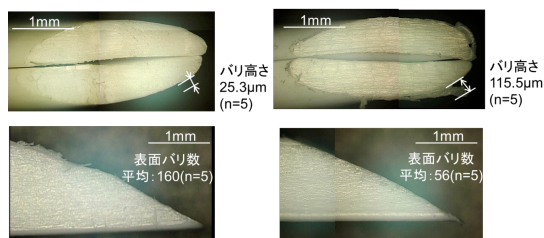


図3 研削加工後の表面の様子

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計 14 件)

- (1) Hirokazu Saito, Syuhei Yamamoto, Hiroyuki Takagi, Transcutaneous vein imaging and venepuncture system for blood test, RRiME - Pacific Rim Meeting on Electrochemical and Solid-state Science, 222nd ECS meeting, 2012/10/7-12, Honolulu, PRIME 2012 meeting abstract CD-ROM, #3561
- (2) 香川亮太, 高木寛之, 佐藤政哉, 角田陽, 齊藤浩一, 無痛採血針の加工のための冷凍チャックに関する研究, 第 51 回日本生体医工学会大会, 2012/5/12, 福岡, 生体医工学 50 suppl. 1, 221 (03-12-4)
- (3) 高木寛之, 香川亮太, 細川聖, 野川雅道, 田中志信, 山越憲一, 齊藤浩一, 採血支援のための静脈検出・穿刺システムに関する研究, ライフサポート学会 第 22 回フロンティア講演会, 2013/3/2, 東京, 講演会予稿集, 36
- (4) 高木寛之, 細川聖, 齊藤浩一, 採血支援のための静脈検出・穿刺システム, 次世代センサ協議会 第二回次世代センサ研究発表会, 2012/10/10, 東京, 講演予稿集, 5
- (5) 高木寛之, 香川亮太, 細川聖, 野川雅道, 田中志信, 山越憲一, 齊藤浩一, 採血支援システムの針制御機構に関する研究, 生活生命支援医療福祉工学系学会連合大会 2012 (ABML2012), 2012/11/3, 名古屋, 講演要旨集, 58 5 (CD-ROM 2GS2-5-6)
- (6) 山本周平, 佐藤政哉, 齊藤浩一, 採血支援のための静脈穿刺機構の試作, 日本機会学会関東学生会第 51 回学生員卒業研究発表講演会, 2012. 3, 講演予稿集 pp. 35-36.
- (7) 香川亮太, 高木寛之, 佐藤政哉, 角田陽, 多羅尾進, 齊藤浩一, 冷凍チャックによる無痛採血針の加工方法の開発, ライフ

サポート学会 第 21 回フロンティア講演会, 2012. 3, pp. 119.

(8) 齊藤浩一, 無痛自動採血システムの開発と課題, 熊本県工業連合会 くまもと技術革新・融合研究会 第 261 回 R I S T フォーラム, 2011. 9.

(9) 香川亮太, 高木寛之, 佐藤政哉, 角田陽, 齊藤浩一, 冷凍チャックを用いた無痛微細針の開発, 生活生命支援医療福祉工学系学会連合大会 2011, 2011. 9, p43 (CD-ROM p47).

(10) 香川亮太, 高木寛之, 佐藤政哉, 角田陽, 齊藤浩一, 冷凍チャックを用いた無痛微細針の加工に関する研究, 第 50 回日本生体医工学会大会, 2011. 4, 生体医工学 49 suppl. 1, p36.

(11) Hirokazu Saito, Koki Nobetsu, Kohei Nakamizo, Susumu Tarao, A computer controlled venepuncture system for blood test, 2010 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies, 2010. 12. 16-18, Honolulu, USA, Abst CD-ROM 01-ANYL 636.

(12) 高木寛之, 香川亮太, 佐藤政哉, 野川雅道, 田中志信, 山越憲一, 齊藤浩一, 近赤外線を用いた自動採血のための静脈探査に関する研究, ライフサポート学会 第 20 回フロンティア講演会, 2011/3/5, 東京, 講演会予稿集, 87.

(13) 香川亮太, 高木寛之, 佐藤政哉, 角田陽, 齊藤浩一, 蚊の口針を模した無痛採血針に関する研究, ライフサポート学会第 20 回フロンティア講演会, 2011/3/5, 東京, 講演会予稿集, 93.

(14) 香川亮太, 齊藤浩一, 蚊の口針を模した無痛採血針に関する研究, 第 2 回大学コンソーシアム八王子学生発表会, 2010/12/4, 東京, 第 2 回大学コンソーシアム八王子学生発表会予稿集, 206-207.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

齊藤浩一 (HIROKAZU SAITO)

東京工業高等専門学校・機械工学科・教授
研究者番号: 00205668

(2) 研究分担者

角田陽 (KAKUTA AKIRA)

東京工業高等専門学校・機械工学科・准教授
研究者番号: 60224359

多羅尾進 (TARAO SUSUMU)

東京工業高等専門学校・機械工学科・准教授
研究者番号: 80300515