

身体表面振動メーター

基礎フェーズ → 応用フェーズ → 実用化フェーズ

光産業創成大学院大学 光情報・システム分野 花山 良平

ここに注目!! 身体表面の微細な振動を光計測でキャッチ。非接触での新しい検査・診断も

スペckル・シアリング干渉振動計測装置によって身体表面（手首）の微かな振動を非接触で計測。心電図でみられるような詳細な脈波データを得ることに成功した。手首以外の部位、さらに脈波以外の振動計測も試み、事例を増加させている。

[用途]新しい検査方法・診断基準としての利用、見守りなど。



花山 良平

光産業創成大学院大学光産業創成研究科准教授。
1998年東京大学工学部卒、2005年東京大学大学院工学系研究科修士、博士（工学）。同年光産業創成大学院大学助手、2013年同助教、2018年より現職。
モノづくりの中の光計測の研究に従事。波としての光を利用した光干渉法によるナノメートルオーダーの精密形状計測技術の研究を行っている。これまでレンズやミラーなどの光学部品を中心とした“硬い”工業製品を対象とすることが主であったが、このCOIに参画したことにより、生体などの“軟らかい”モノの計測に応用範囲を拡大している。

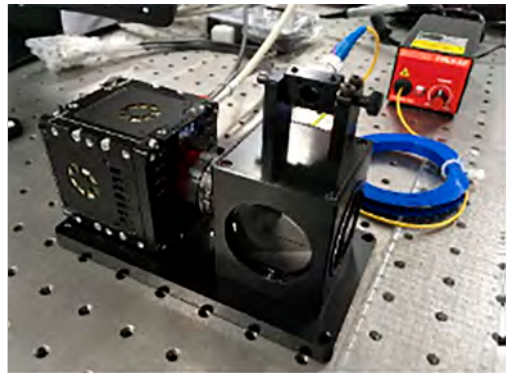


モノづくりの現場やインフラの点検などでは、非接触で物体表面の振動を測る技術が使われています。カメラを用い連続画像を解析する手法では、物体の揺れの面内分布や微細な振動を捉えることが可能です。これによって、様々な製品の性能を計測・数値化したり、建造物や物体の劣化の兆しをピンポイントで発見したりすることができます。

「この測定装置で人を見たら、何がわかるだろう」、という着想で、身体表面振動メーターの研究開発が始まりました。

まず、手首の表皮近くを走行する動脈の拍動を捉えることに挑戦しました。工業製品の検査・評価などに用いる装置では1秒間に8,000コマの撮影が可能な高速度カメラを用いていましたが、血管の脈動を捉えるにはそこまで高速である必要はありません。そこで最高撮影速度を1秒間に100コマに下げる代わりに解像度の高い産業用カメラを使い、クリアな脈波のデータを得ることができました。

今後、こめかみなど顔の画像からの脈波測定や、喉の画像からの声帯振動の測定に挑戦してみたいと考えています。この技術によって、これまでに無かった新しい検査、症状の数値化、予防医学への活用などができるのではないかと、期待しています。



手首の振動を測定している。測定箇所がよく分るように白く塗っている。



実用化レベル

手首の動脈の拍動を測定する実験では、心電図で見られるような脈動の波形に類似した詳細構造を含む波形を測定することにも成功しました。カメラの視野に測定したいポイントが入っていれば手首を固定する必要はなく、数十センチ離れたところから測定可能です。

様々な条件下での測定や脈動以外の測定はこれからの課題ですが、検出したい振動の様子や振動数などに応じて測定条件はカスタマイズすることが可能です。

活用シーン

- 非接触による脈拍数、脈波の測定（一般用・医療用ともに）
- 運転、操縦などの見守り、危険回避
- 身体表面の不随意で突発的な振動の検出、測定
- 脈波に限らず、体表面の振動による各種の検査や観察
- 低体重児や患児の見守り ほか

技術概要

モノの表面は、鏡のようにツルツルな面（鏡面）とそれ以外の一般のザラザラした面（粗面）に分けられますが、粗面にレーザー光が当たると、光は散乱され、互いに干渉することで、ギラギラと光る粒々の模様が見られます。この粒々の模様をスペckルと呼びます。スペckルは一見、ランダムな模様に見えますが、実は表面の微妙な凹凸に起因した、決定論的な模様です。この模様を調べることで表面の移動や変形を調べることができます。スペckルから表面の状態を調べるにはスペckルを含む光の波面を複数用意し、それらの相関を調べます。この計測方法をスペckル干渉法と呼びます。身体表面振動モニターでは、スペckルを含む光の波面を、それ自身を少しだけ横にずらした波面との間で干渉させる、スペckル・シアリング干渉法と呼ばれる計測手法を用いて、測定面内の微小な傾きを検出しています。さらにこれを経時的に行うことで、測定面の微細な振動を捉えることができるようになっています。

この測定方法は、面全体が一樣に平行移動するような動きにはあまり反応せず、血管の脈動のように皮膚表面が局所的に盛り上がるような振動を捉えるのに適しています。

■使用する装置・システム

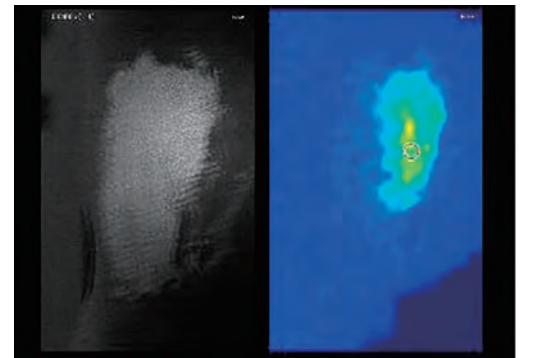
身体表面振動メーターはレーザー光照射装置、プリズム型シアリング干渉光学系、高速度カメラなどから成り立っています。これらの構成要素は振動や衝撃に強くなるように作られており、車の上などで使用することも可能です。現在の試作機は手に載るほどのコンパクトサイズ（5cm×5cm×15cm）に作られています。また、測定データの解析には一般的なノート型のPCを用いており、どこでもオンサイトで計測できるようにしています。また、更に小型化した、タブレット端末一体型の携帯可能な試作機の開発も進めています。

■得られるデータ

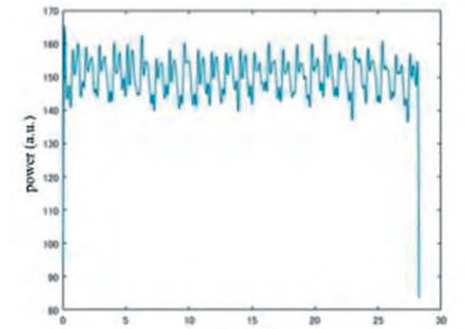
測定結果はその場ですぐに画像化して確認できるようになっています。振動の大きさを色の濃さで表したり、測定面内の任意の点の振動を波形で出力したりするなど、わかりやすい表現方法を目指した開発を進めています。

■推奨したい他ツールとの統合解析

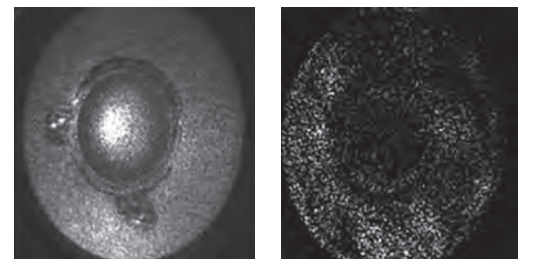
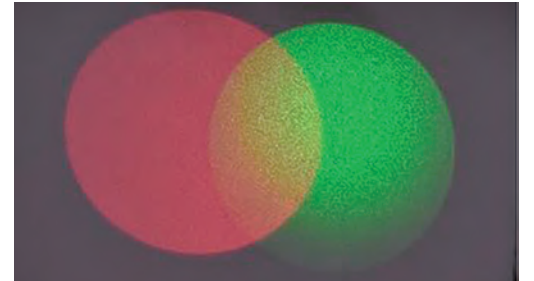
- 顔感性カメラ
- 感性メーター
- 触感デザインツール



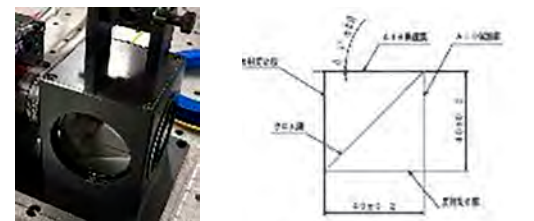
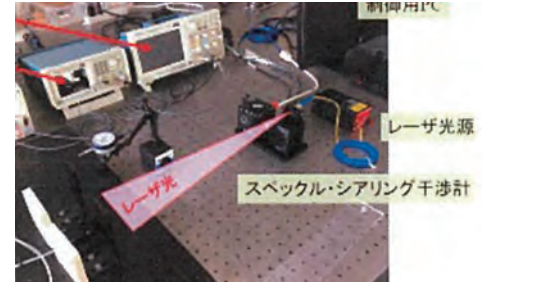
生画像と時間差分画像の比較



身体表面の振動情報から非接触で脈拍を計測することに成功



スペckル振動計測の例（スピーカ表面の振動観察）



レーザー光源、高速度カメラ、ウェッジ・プリズム型シアリング干渉光学系を組み合わせた測定装置

社会実装に向けた取り組み

●手首で動脈の拍動の計測

身体表面振動計測の可能性を示す第一歩として、人の手首での動脈の拍動の非接触の計測を行いました。血管の脈動による皮膚表面の隆起を計測したところ、10 μ m程度であり、傾きとしては数mrad程度であることが判りました。つまり1mの棒を横にしたときの両端の高さが数mm異なる程度の微小な傾斜ですが、開発した身体表面振動メーターではこの微小な変形を明確に捉えることができました。

さらにこれを1秒間に50コマの速さで画像取得を行って振動計測を行ったところ、脈拍数だけでなく詳細な脈波の波形を捉えることができました。これは、心臓や血管の健康状態や、感性や感情の変化を知る手がかりとなることが期待できます。

この実験では身体表面からの散乱光を強くするために手首に白粉を塗って計測を行いました。白粉を塗らなくても計測可能となる条件の絞り込みの目的は立っており、白粉を塗らなくても計測可能となる見込みです。

●使用するレーザー光の選択

スペックルを利用するこの計測方法はレーザー光を使用する必要があります。人体にダメージを与えない程度の弱いレーザー光を照射しています。身体表面振動メーターでは皮膚表面の振動を計測するために皮膚の下に潜り込みにくい青色レーザー光を用いています。これを、被験者には見えない赤外線レーザーを用いれば見守りなどの用途に活用しやすくなることもできます。赤外線をういた場合では、一部の光は皮膚の下に入り込み、皮下の血管を流れる血球の動きなどの情報を得ることも可能です。つまり、光の種類によっては、同じ技術で体表より内側の振動を計測できます。今後のテーマのひとつとして探求していきたいと考えています。

●他のツールとの融合

身体表面振動メーターは、感性COIで開発中の様々なツールを補完し、機能や性能を拡張させるポテンシャルがあると考えています。感性COIでは、同じように、非接触で血流量を測定するツールが開発されています。私たちの技術では、脈波による血管の膨張を調べることができますので、血流量の変化を同時に計測すれば、非接触で血圧を測定できるようになる可能性があります。

今後の応用可能性

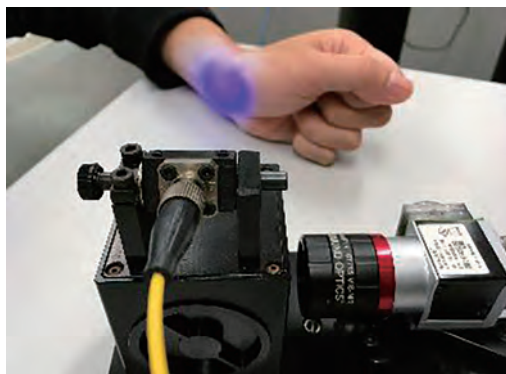
非接触で測定できる新しい検査機器の開発

《こめかみ部などの突発的な振動を測定》

人が緊張した時などに不随意に起こる、頬やこめかみ部などの突発的な振動を計測することが可能となります。これにより、あせりや緊張といったような感情や感性の状態を知る事に使えるのではないかと期待しています。

《脈波・血管の健康状態を測定》

様々な場面で、心拍数、脈波など、心臓・血管に関するデータを得ることが出来ます。手首をかざすだけで日々の健康状態を確認できる装置から、非接触で詳細に脈波を測定する医療の検査機器まで、様々な

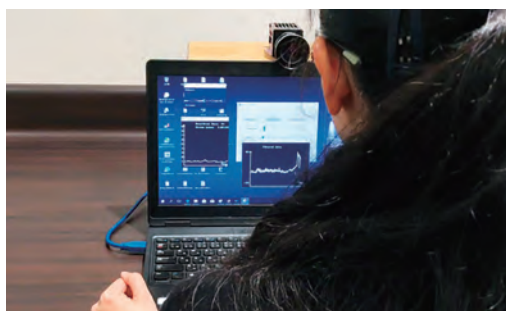


赤外線レーザー



青色レーザー

手首にレーザーを照射して身体表面の振動を測定



感性COIの他ツールとの補完・融合。写真は顔感性カメラ



手首の血管の微かな振動を測る（イメージ）



健康管理全般に利用（イメージ）

用途への展開を目指しています。

機器が身体に接触しているという緊張を感じることなく、普段の状態に近いデータを得ることができます。また、負担感がなく継続的に測定することができるので、稀にしか生じない脈波の揺れといった症状も逃すことなく詳細データを得られるようになることも期待できます。

《手首・腕・足首以外で脈波を測定》

従来の脈波測定は、脈を取りやすく、装置を装着しやすい手首や足首など特定の部位で行われます。この身体表面振動メーターを用いれば、動脈が体表近くを流れている場所すべてが測定可能ポイントになります。数カ所の脈波を測定することで、血管の狭窄が起きている部位を推定するなどの用途に使えるのではないかと期待しています。

《体表の振動情報で聴診を代替》

内科医は聴診器で身体が発する音を聞き、内臓の状態を推定しています。非常に有用ですが熟練が必要な手法です。身体表面振動計測メーターで胸部・腹部の表面・裏面を測定し、そこから得られたデータを、聴診の結果を比較分析することで、非接触で聴診と同じ情報を得ることが可能になるかもしれません。

これによって、熟練した医師がいなくても聴診に代わる情報を得たり、治療効果や重症度を客観的に評価できるようになるのではないかと考えます。

非接触・経時的な測定による見守り装置の開発

《運転・操縦中の見守り装置》

自動車の運転や長時間の集中が必要な機械の操作などを行う場面に測定装置を設置し、使用者の体表から心拍や脈波などのデータを取ることで、集中度、疲労度などを測定、状況に応じて休憩を奨めることで事故を防ぐことができます。

《症状としての震えを計測、数値化》

身体の震えが症状として現れる疾患が多くありますが、診察中に震えが生じるとは限らないため、診断が難しいと言われます。日常生活の中で数時間、あるいは数日にわたって継続的に測定を行い、異常な震えを検出したらデータとして記録し、診断に役立てるという新しい検査を実現できるかもしれません。

《低体重児や患児の見守り装置》

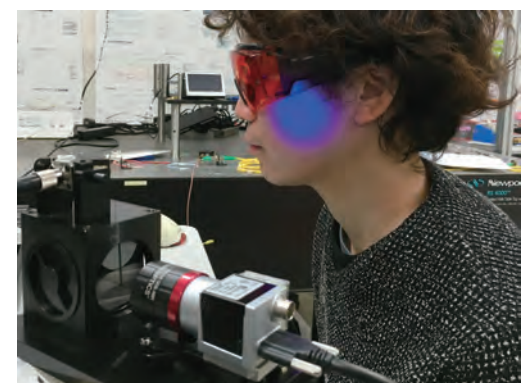
NICU（新生児集中治療室）で治療を受ける低体重児は、体調をモニターするために小さな身体にセンサをつけていることがあります。ベッドに取り付けたカメラから心拍や脈波を常時測定することで、接触型センサを代替することができます。

新生児だけでなく小児科でも非接触でモニタリングを行うことで、患児の身体的・精神的な負担を軽減することが可能になると考えます。

身体表面の振動を測って新しい検査方法や診断基準を

これまで、人間の身体の表面に現れる微細な振動を、この身体表面振動メーターほどの精度で測定し、分析したことはなかったと思われます。この技術を用いることで、今まで気づかれていなかった揺れ、ゆらぎ、振動が体表に現れていることが発見されるかもしれません。

それは、新しい検査方法や診断基準を生み出す可能性があります。脈動に限らず、幅広い種類の振動の検出を目指しています。広く、活用していただきたいと考えています。



こめかみの振動の測定風景



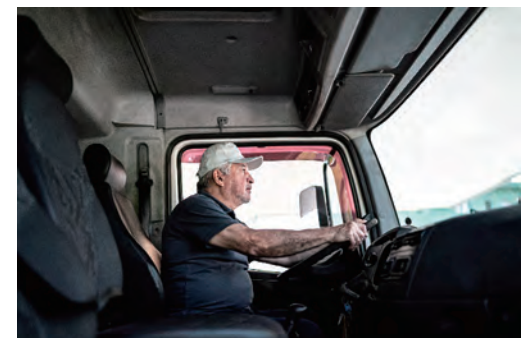
喉の微細な振動を測る（イメージ）



身体表面の微細な振動を測る。新しい診断方法の可能性（イメージ）



乳児の見守りに利用（イメージ）



運転中の見守りに利用（イメージ）