



1チャンネルの信号中の不規則成分波形の 実時間挙動分析

九州工業大学 大学院 情報工学研究院
知能情報工学研究系 助教

永井 秀利

全体の流れ

1. 解析対象信号と成分波形
2. 不規則な信号波形の解析で見る新技術の効果
3. 単チャンネルの表面筋電波形を対象とした新技術の実施例
 - i. 運動単位活動電位波形の検出と抽出
 - ii. 運動単位活動ベースでの筋活動の評価
4. 想定される用途と企業への期待
5. 知的財産権とお問い合わせ先

信号波形の解析

- 解析対象の性質に時間変化が存在する場合, 何らかの手段で計測した特性値の時系列を信号波形として分析することは一般的
- 解析対象となる信号波形のタイプ ⇒ ざっくり分けると2種類
 1. 調べたい内容の特性が直接的に表現されているもの
 2. より小さな構成要素(成分波形)の複合として観測されているもの

2番目のタイプの信号は結構多い

その割には, 取得した信号波形から成分波形を抽出し, 直接的に特性を分析することはあまり多くないのでは?

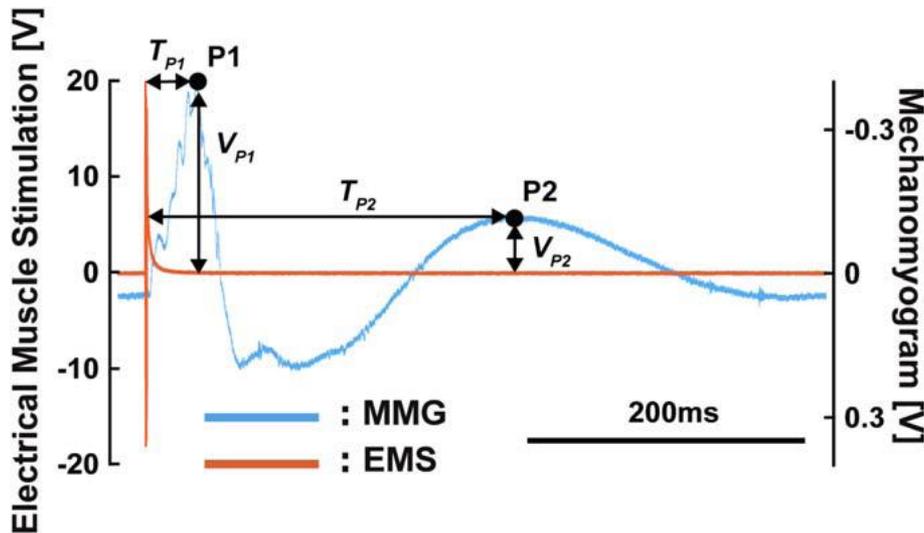
難しい場合が多いので



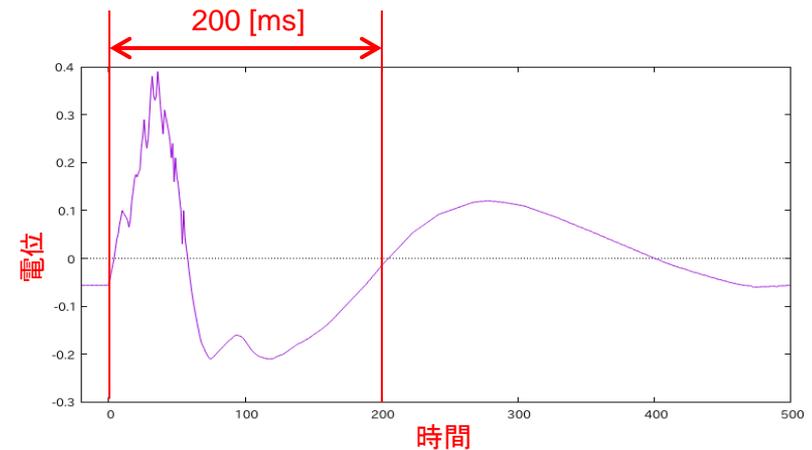
新技術を使えば, 単チャンネルで取得した2番目のタイプの不規則な信号波形を対象として, リアルタイムで分析可能

不規則信号波形分析例 ～ 成分波形

- 挙動解析の対象とする成分波形(文献[1]を参照)
 - 単純なsin波合成などでは表現しづらい波形
 - 多様な周波数成分で構成



文献[1]から引用した電気刺激時の筋音波形の図

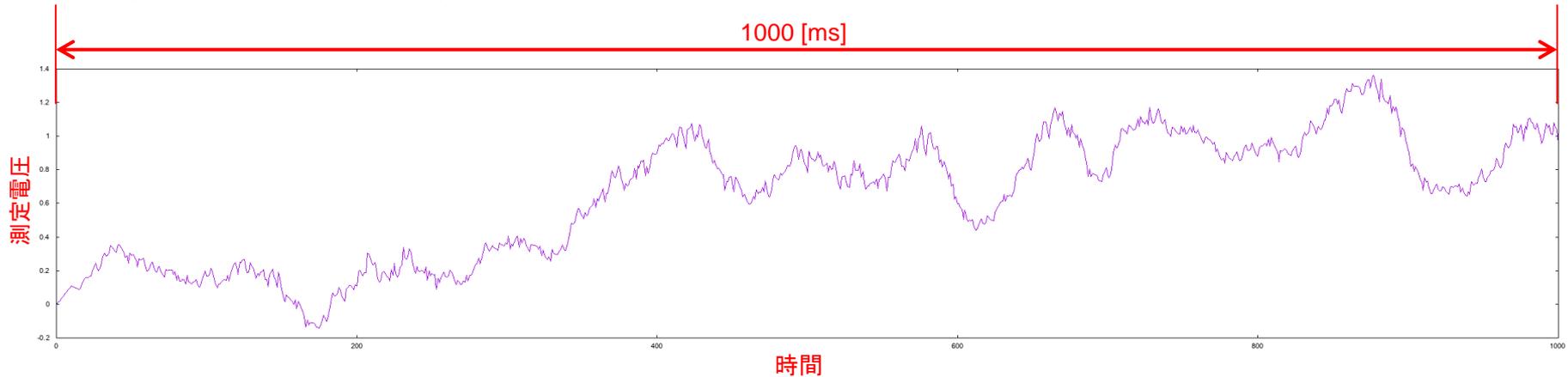


引用図に基づいて1000サンプル/秒で作成した筋音波形データ

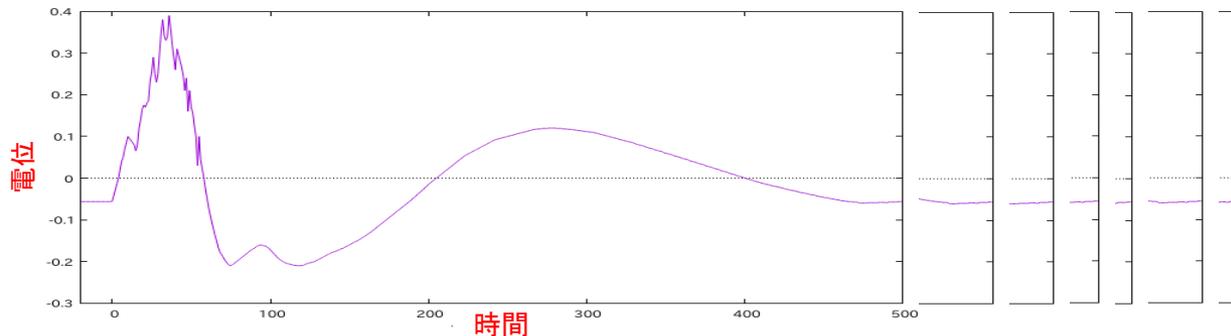
[1] "Evaluation method for muscles, measuring mechanomyogram induced by electrical muscle stimulation using lead zirconate titanate-based acaoustic sensor", Japanese Journal of Applied Physics 58, SLLD11 (2019)

不規則信号波形分析例 ～ 解析対象信号波形

■ 解析対象の不規則信号波形

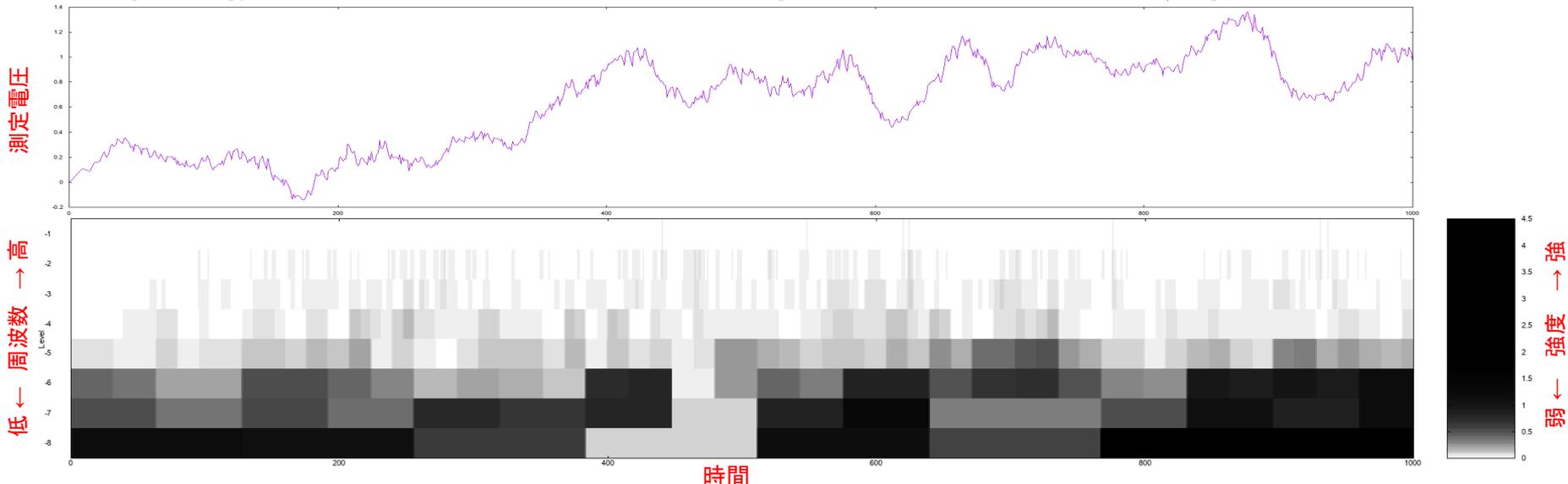


上記の波形には、挙動分析対象となる多数の成分波形を構成要素として含む



従来技術による解析例

■ 従来技術の例：ウェーブレット解析などでの周波数解析

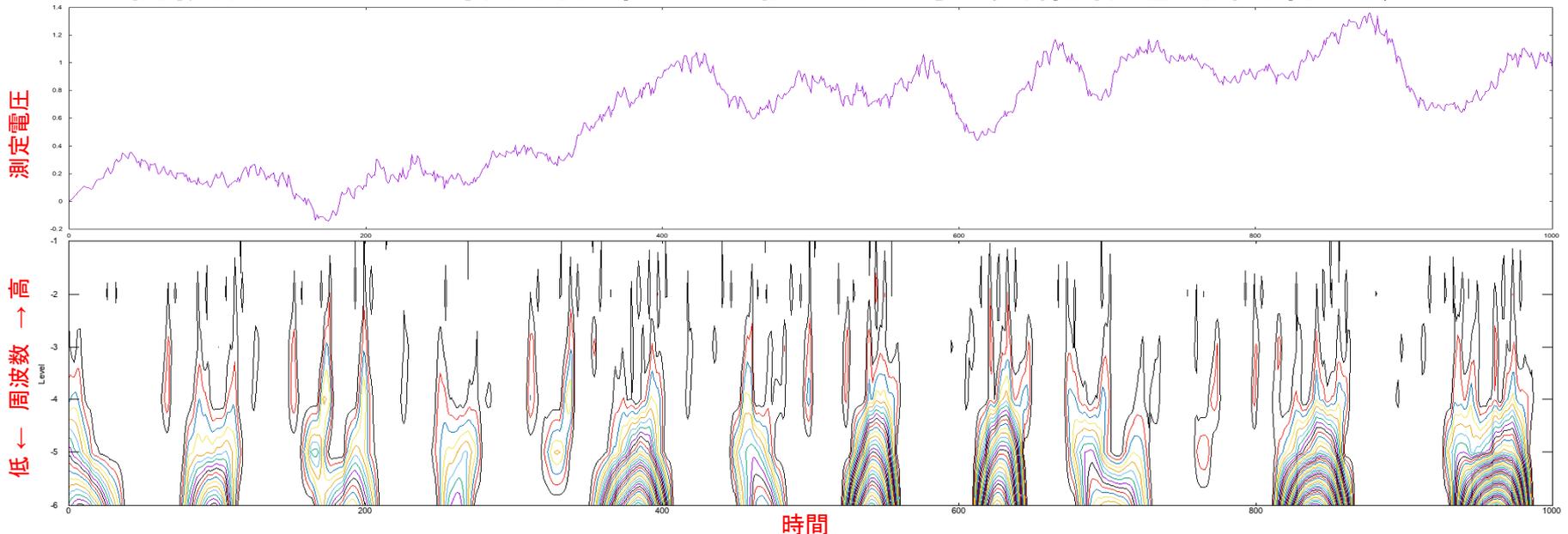


ウェーブレット解析(多重解像度解析)による時間-周波数領域ごとの信号強度

- **各領域の強弱と成分波形との関連性を見出すことは困難**
 → 時刻ごとに周波数帯域の強弱が変化していることは観測できるが、成分波形がその変化にどう関わっているのかはよくわからない。
 - **ならばどうする？ ⇒ 成分波形の検出は諦める**
 - ✓ ゆるやかな値の推移から、全体の動向を捉えることを試みる
 - ✓ リアルタイムを諦めて、複雑なモデルによる推定を試みる ... など
- ... というのが従来技術の場合

新技術による解析例

■ 新技術に基づく解析結果の可視化例(強度情報を等高線で表示)



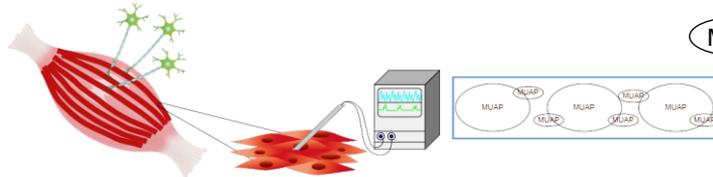
各時刻において、信号波形に含まれる成分波形の挙動を、
縦向き(時間軸に垂直)の涙滴状の塊で捉えることが可能

■ 新技術を用いた解析の効果

- 塊を構成する各値を利用して、成分波形の推定波形を獲得可能
- グラフ作成の元になっているデータは、リアルタイムで獲得可能
(必要なサンプルデータが計測されるまでの不可避の遅延は存在)

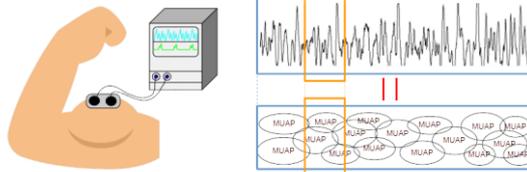
新技術の実施例：表面筋電信号への適用

- 筋電 = 筋肉が活動する際の電位変化
- 筋肉動作の基本単位となる筋繊維の束 = 運動単位
→ 筋電信号の成分波形 = 運動単位の活動電位波形
- 針筋電 ⇒ 針の形をした電極を筋に刺入して計測
 - 高精度だが、得られるのは**針先付近の局所的情報**のみ



MUP : 計測信号中の運動単位活動電位の大きさをイメージ

- 表面筋電 ⇒ 体表(皮膚表面)に張り付けた電極で計測
 - 得られるのは**多数の運動単位の活動電位が足し合わされた信号**

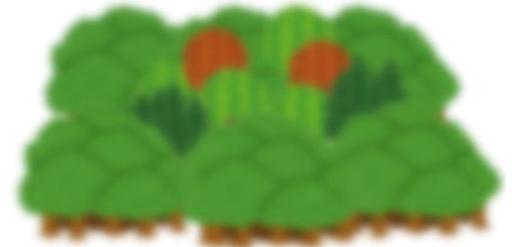


← 実施例の対象

新技術：単チャネルの表面筋電信号から運動単位活動電位波形を抽出

筋電信号解析における新技術の位置付け

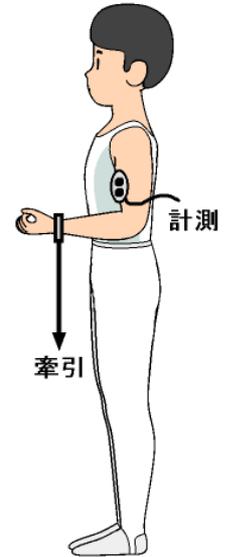
- 運動単位を木に，筋全体を森に例える
 - 木には複数の種類，複数の状態が存在
- 針筋電
 - 調査対象の木の状態は高精細に取得可能
 - 他の木の状態や森全体の状態は不明
- 表面筋電（従来技術での解析）
 - ぼんやりとした森全体の平均的状态を取得
 - 個々の木の状態はほぼ不明
- 表面筋電（新技術での解析）
 - 全ての木とは言えず，精細さは針筋電に劣るが，
多数の木の各状態の推定，取得が可能



実施例における実験データ

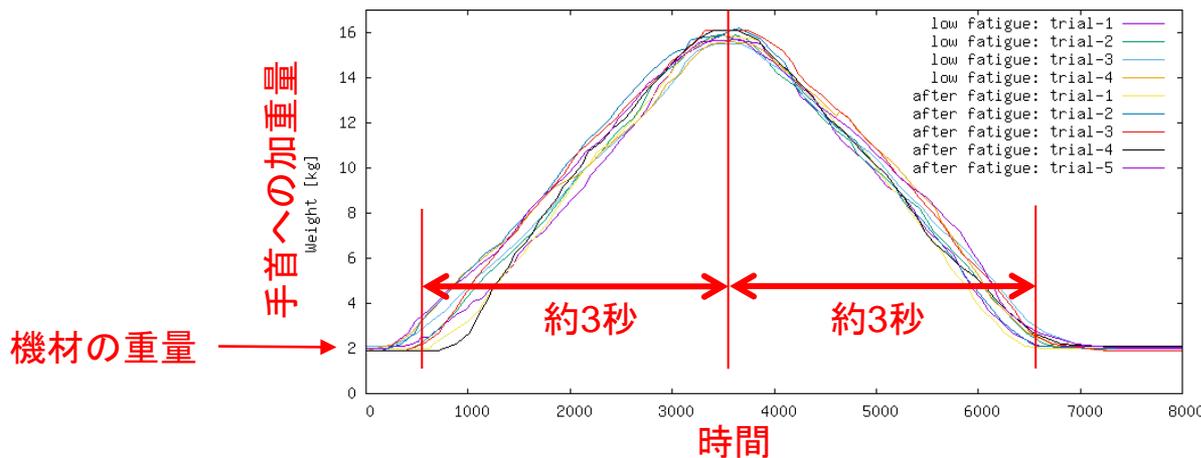
■ 計測方法

- 右図の姿勢で手首を下に牽引して加重（姿勢は極力維持）
- 上腕二頭筋の表面筋電を双極誘導で計測



■ 実施方法

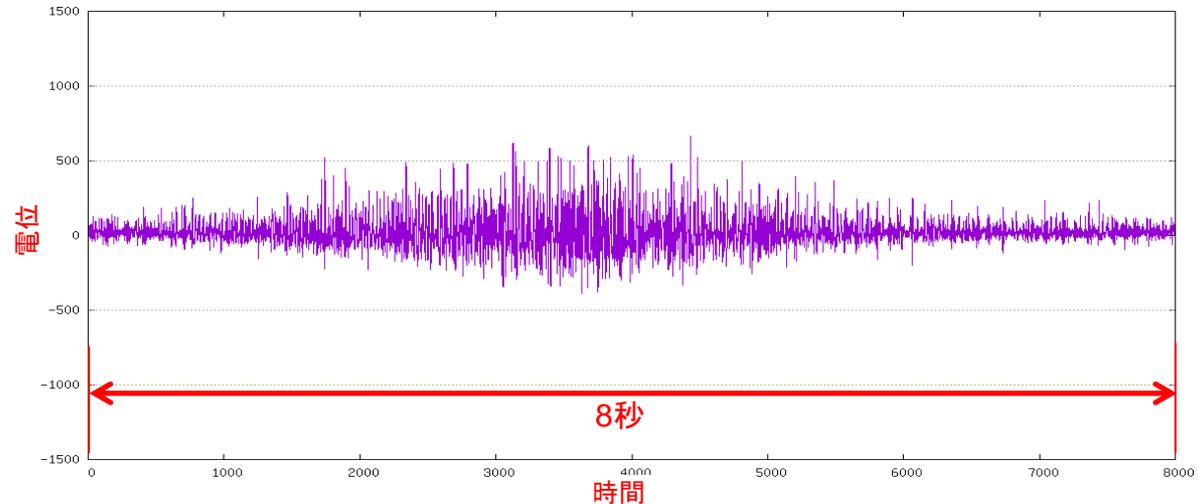
- ① 約20秒の脱力休憩を挟みつつ4回加重（= **低疲労時**）
- ② 約1分間のダンベル昇降運動で筋を疲労させる
- ③ 約10秒の脱力休憩を挟みつつ5回加重（= **筋疲労後**）



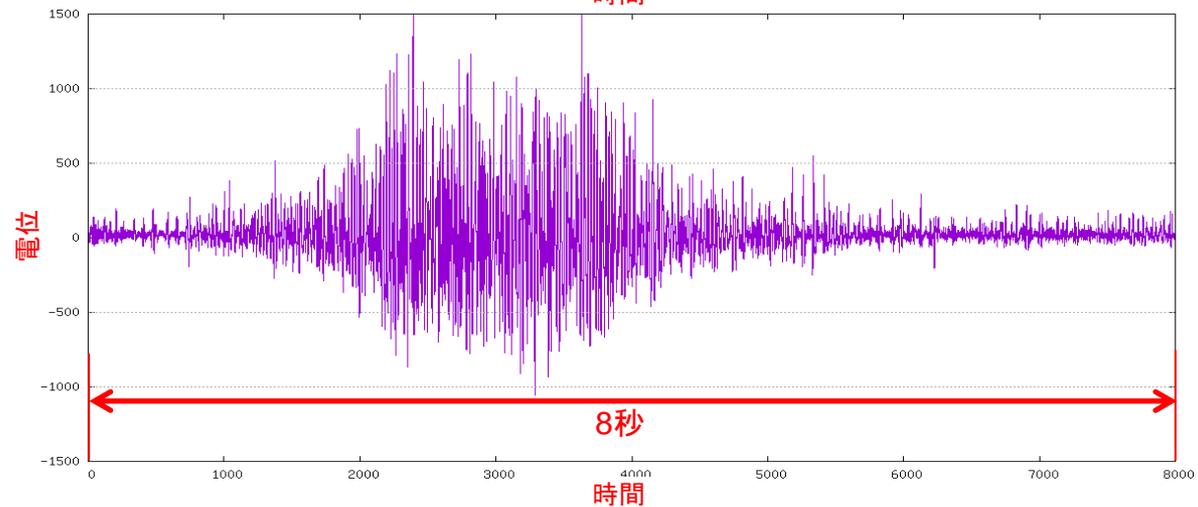
低疲労時4回，筋疲労後5回の各計測時の加重変化

計測された表面筋電波形例

低疲労時の1回目



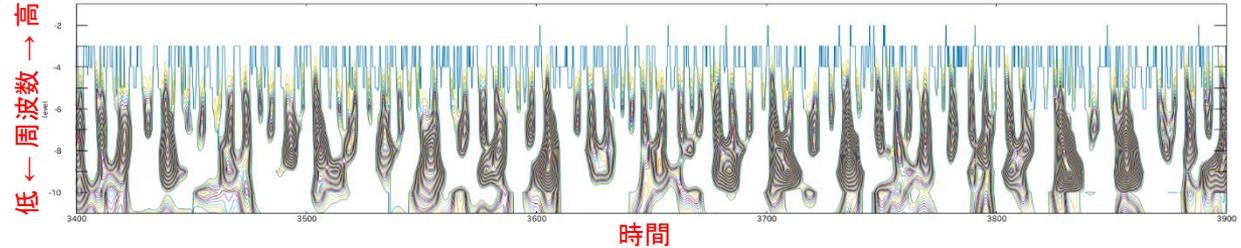
筋疲労後の1回目



負荷(発揮力)が大きいほど振幅大, 同じ負荷なら疲労時の方が振幅大という
表面筋電信号が持つ傾向が観測結果に現れている

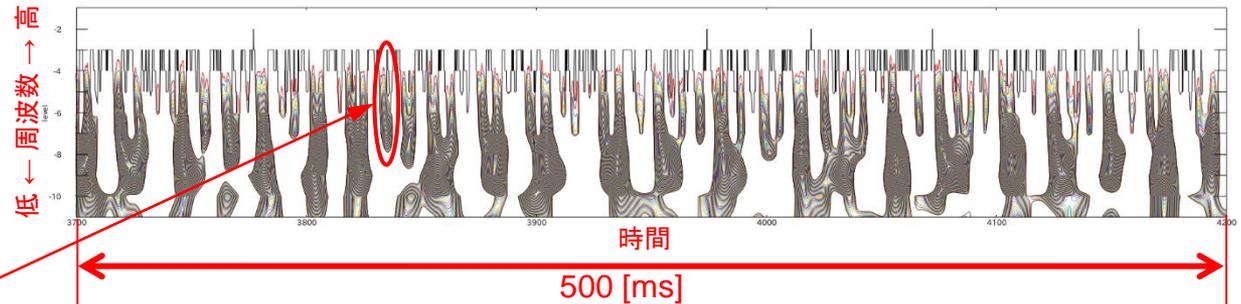
新技術による筋活動状況の可視化

低疲労時の1回目



最大負荷の付近

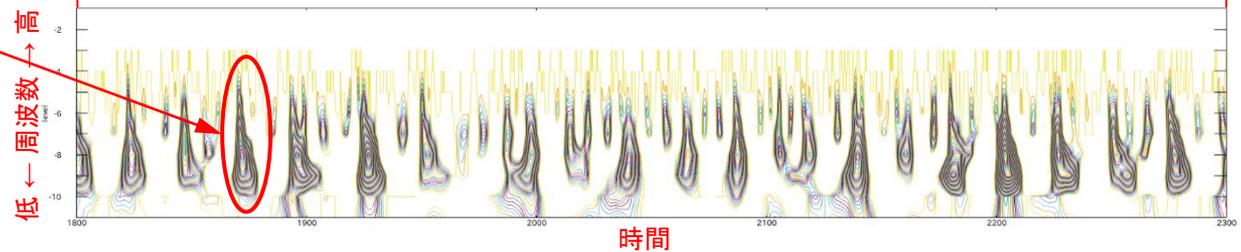
筋疲労後の1回目



涙滴状の塊が
運動単位波形に対応

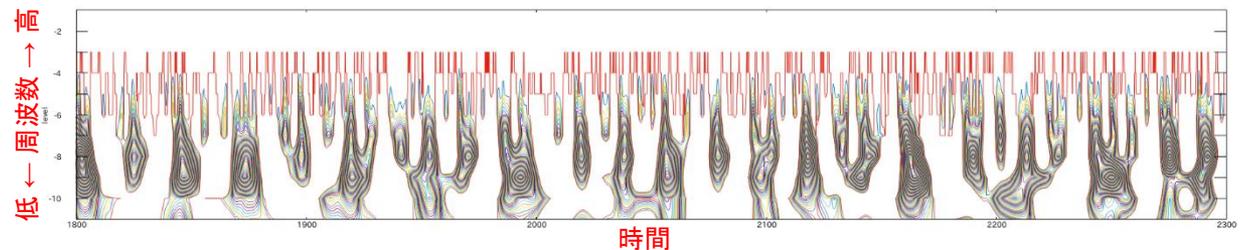
例えばこういうもの

低疲労時の1回目



半分程度の負荷の付近

筋疲労後の1回目



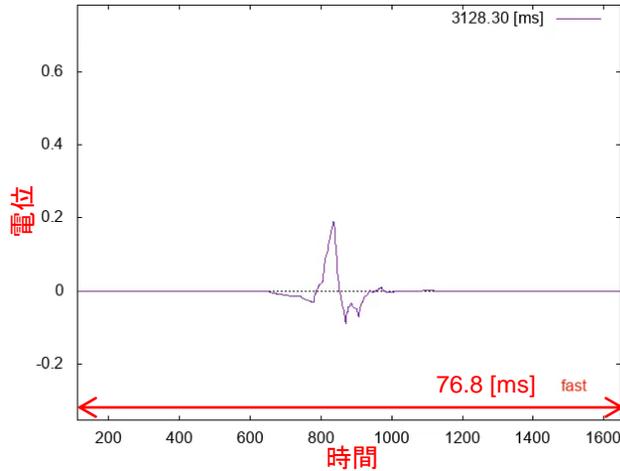
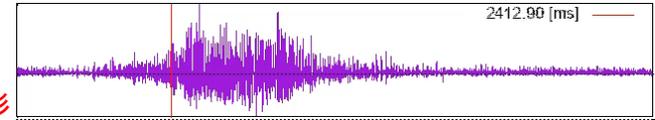
筋疲労により、涙滴状の塊の低周波数化、山の高さや幅の増大といった変化が見られる

新技術による各時刻の速筋/遅筋別検出波形の動画



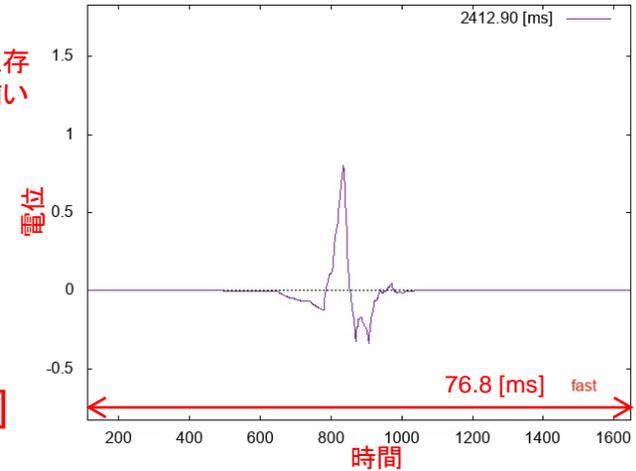
表面筋電

赤線の時刻に対応する波形

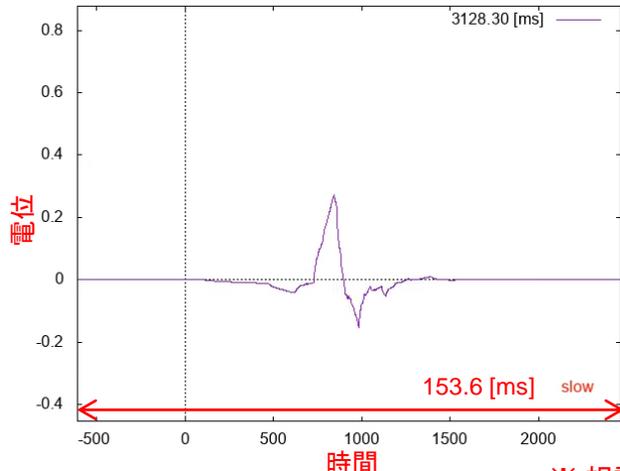


縦軸レンジは、ピーク値依存
で設定しているため、不揃い

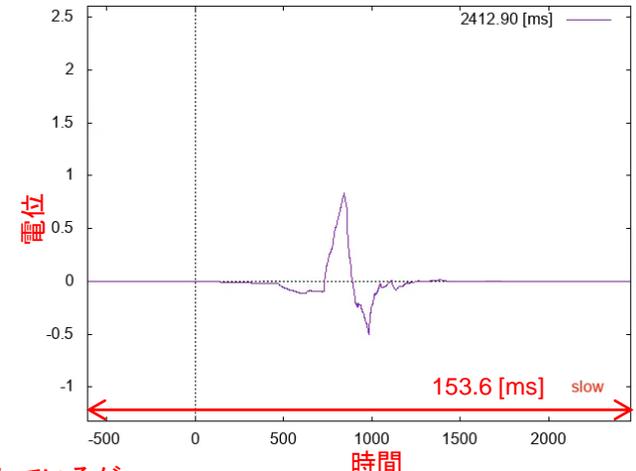
速筋



2.5 [ms] を 1 [s]
(400倍) に伸長



遅筋



低疲労時の1回目

※ 視認のため変化をそのまま表示しているが、
実際の波形存在時刻として定義されるのは
ほぼ局所ピーク時刻と考えてよい

筋疲労後の1回目

成分波形特徴に基づく信号特徴解析

- 新技術：成分波形の形状再現に足る情報をリアルタイムで取得
⇒ 個々の成分波形に対する特徴分析の準備済み
- 成分波形の分析に基づいて信号を分析できると何が嬉しい？

信号波形における成分波形の関与等，緻密で高精度な解析が可能

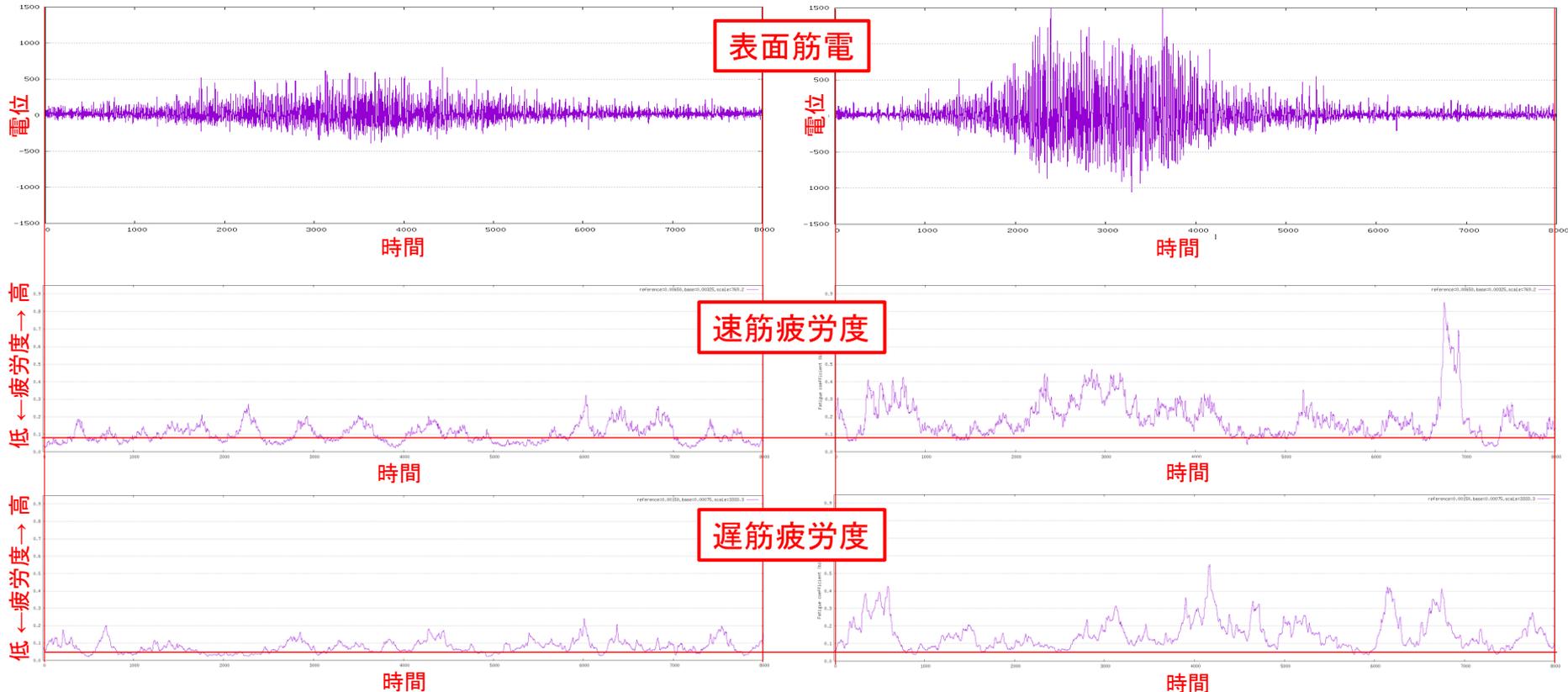
例えば表面筋電において...

- 従来技術では発揮力と筋疲労との同時評価はほぼ不可能
 - 発揮力増大⇒振幅増大 & 同一負荷での振幅増大⇒疲労増大

新技術：成分波形分析に基づくことで，
運動単位ごとに区別しながら運動中の同時評価が可能

- 新技術における運動単位活動の分析に基づく表面筋電信号分析
 - 筋疲労度評価 ← 従来技術とは異なり，負荷変動がある運動中の評価が可能
 - 筋発揮力評価 ← 従来技術では扱えなかった筋疲労影響を加味した高精度評価
 - 活動余力評価 ← 従来技術にない筋活動限界に関する評価（今回は説明省略）

各時刻の筋疲労度(疲労影響の表出度)評価



低疲労時の1回目

筋疲労後の1回目

疲労度評価値の値はあまり大きくはならない

低疲労時に比べて大きな値の上昇が見られる

いずれの場合も表面筋電信号の振幅変化との直接的な関係はほとんどない

運動単位ごとの分析に基づくことで、負荷の影響を抑制して筋疲労を評価

細かい変動は、値がその時点で活動している運動単位に依存 & 全ての運動単位が均質に疲労するわけではないため

試行ごとの速筋疲労度評価の変化

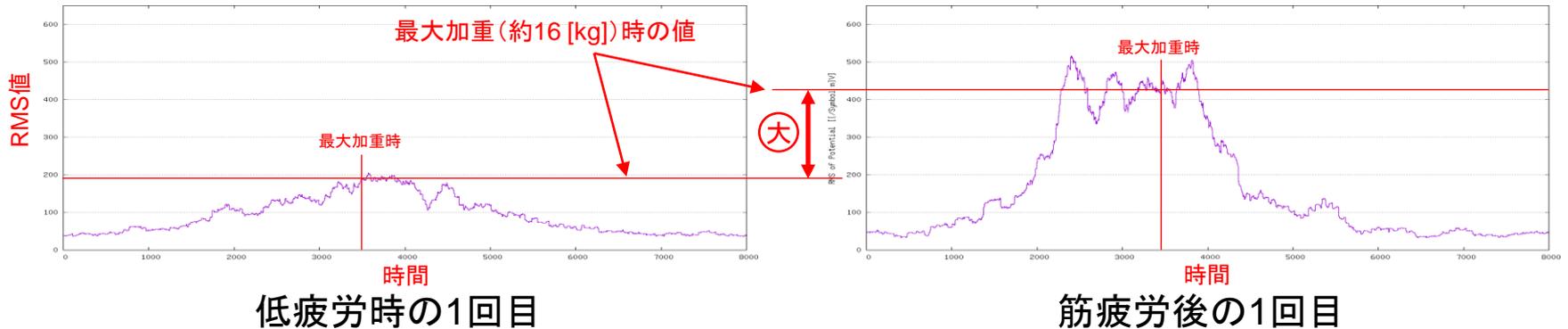
各グラフの横軸:時間, 縦軸疲労度評価値



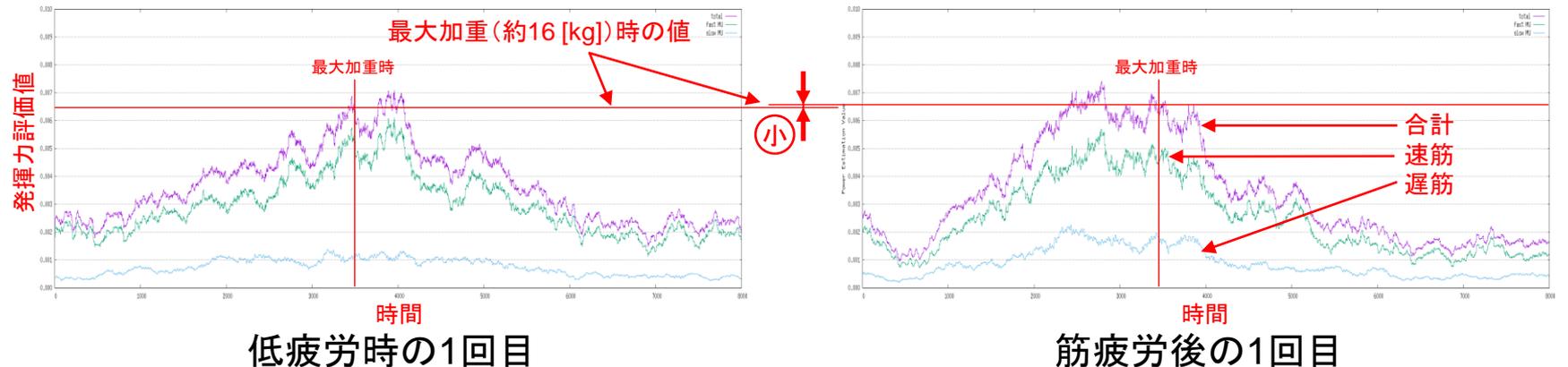
疲労状態の変化をリアルタイムに高い感度で捉えることが可能

疲労度の違いがある状況での筋発揮力の評価

■ 従来技術：表面筋電信号のRMS値による発揮力評価



■ 新技術：疲労度を加味した発揮力評価（速筋，遅筋とその合計）



従来技術：同じ評価値でも疲労前後で実際の発揮力が大きく異なる ⇒ 低精度
 新技術：疲労に関係なく，同じ評価値なら同程度の発揮力となる ⇒ 高精度

想定される用途と企業への期待

■ 新技術のポイント

- リアルタイム解析が可能な軽い処理で
- 単チャンネルの解析対象信号のみで
- 信号中に不規則に含まれる成分波形を検出・抽出し、
- 成分波形の特徴分析や
- 成分波形特徴に基づく信号波形分析を可能にした

■ 想定される用途

- すべてとは言えないが、信号に含まれる成分波形の特徴や動向が重要な要素となるような信号解析全般

■ 企業への期待

- 表面筋電についてはある程度の有効性が確認できているので、その実験対象の拡大、事業化、製品化
- 表面筋電に限らず、新技術が有効に機能するような新たな種類の解析対象信号への展開
(例えば、心電や脳波等の医学分野、駆動音や振動等の工学分野)
- その他、新技術の活用に関する共同研究



新技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 信号解析システム及びそのプログラム
- 出願番号 : 特願2020-215284 等
- 出願人 : 国立大学法人 九州工業大学
- 発明者 : 永井 秀利



お問い合わせ先

国立大学法人九州工業大学

オープンイノベーション推進機構 産学官連携本部

知的財産部門 マネージャー

柳楽 隆昌(ナギラ タカマサ)

TEL:093-884-3499

FAX:093-884-3531

e-mail:chizai@jimu.kyutech.ac.jp