

視覚誘発電位のシミュレーション解析

佐々木 弘*

Simulation Analysis of Visual Evoked Potential

Hiroshi Sasaki

The electroencephalogram generated by receiving a stimulus is called evoked potential, and the evoked potential in a visual stimulus is especially called visual evoked potential. Average processing method has been used for evoked potential analysis for a long time. However, the evoked potential has not always been generated regularly synchronizing with the starting point of a stimulus because of the fluctuation phenomenon of evoked potential. As the result, the waveform after average processing is observed to be distorted. Correlation filter method for removing this distortion is already described in the last report (Memoirs of Fukui University of Technology, Vol. 32).

In this study, the processing program of correlation filter method was improved moreover. And in order to confirm the effectiveness of this program, the simulation analysis was performed by the pseudo-evoked potential waveform.

1. はじめに

人は眼の網膜で刺激としての光を感じ、視神経がその情報を大脳視覚領へ伝え、微小電位（脳波）を生ずることで認識する。刺激を受けることにより発生する脳波を誘発電位と呼び、視覚刺激によるものが視覚誘発電位である。誘発電位はもともとある脳波（基礎律動）の上に重なるため直接見ることはできない。そのため、刺激に対する反応である誘発電位のみを取り出すには、刺激に無関係な基礎律動を除去しなければならない。

誘発電位解析には従来から加算平均処理法が一般的に用いられてきた^{1)~4)}。これは刺激毎に同期発生する誘発電位を逐次加算平均することによって、ランダムノイズを除去し誘発電位のみを抽出する方法である。しかし、誘発電位には揺らぎ現象が起きており、刺激の開始点に対して常に同期発生しているとは限らない。

そこで、本研究においては、加算平均処理法を発展させた相関フィルタ処理法を用いての誘発電位解析を試みている。相関フィルタ処理法は誘発電位の揺らぎ現象による加算平均処理波形の

* 電気電子工学科

歪みを防ぐ方法として、前報（福井工業大学研究紀要 第32号⁵⁾）で示したものであるが、本研究ではさらに相関フィルタ処理プログラムに改良を加え、数式によって算出した擬似誘発電位波形を用いてのシミュレーション解析を行うことで、その有効性を確認している。

2. 相関フィルタ処理法

処理効率の問題等から、前報では100個のRAWデータ（未処理の誘発電位波形）を10個ごとに加算平均処理して1つのデータ群に、すなわち100個のRAWデータから10のデータ群を作り、それらのデータ群に対して相関フィルタ処理をしてきた。しかし、揺らぎ現象の影響を受けていない信頼性の高い結果を得るためには、100個のRAWデータに対して個々に相関フィルタ処理をし、相関値計算後の波形のずれ補正において位相の進んでいる波形に揃えていく方法に変更することが最適であると考えられる。したがって、以上の点を改良した本研究での相関フィルタ処理プログラムは、個々の波形同士の相互相関を調べ、時間のずれを補正した後、加算平均処理を行うというフローチャート（図1）になっている。この処理プログラムは相関値計算、および波形のずれ補正を自動処理できるようになっており、処理時間を大幅に短縮している。なお、プログラムはVisual Basic 言語を用いている。

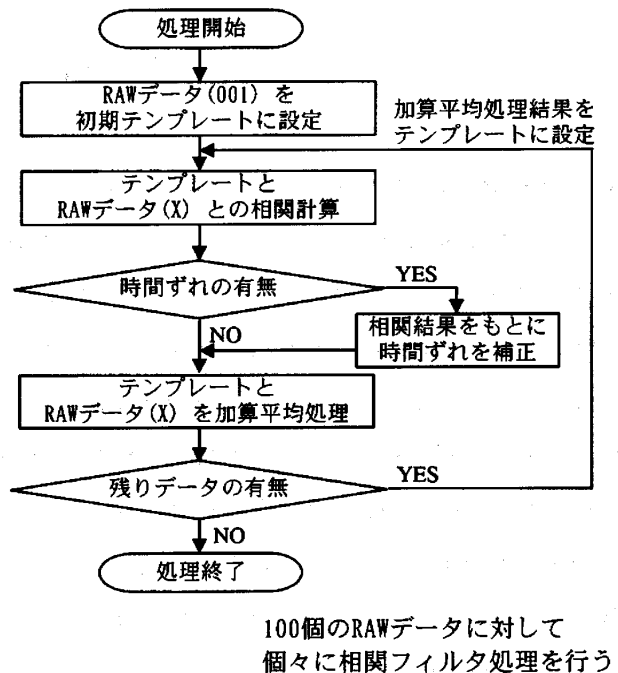


図1 相関フィルタ処理法のフローチャート

3. 擬似誘発電位

相関フィルタ処理法の有効性の確認、および処理プログラムの動作チェックのため、実際の視覚誘発電位に近似させた擬似誘発電位波形を数式によって算出し、それを用いて誘発電位のシミュレーション解析を行う。

擬似誘発電位は次式で作成する。

$$\begin{aligned} \text{擬似誘発電位} &= \text{信号成分} + \text{他の成分} \\ &= 6.25 \sin\{\omega_1(t-r_1)\} \exp\{-\omega_1(t-r_1)\} + \sin\{\omega_2(t-r_2)\} \quad [\mu V] \end{aligned}$$

第1項の信号成分は視覚刺激による反応（真値成分）と考え、これに第2項の他の成分（視覚刺激による反応以外）が加わったものを擬似誘発電位とする。

式中の各パラメータについては、

○ 信号成分

角速度： $\omega_1 = (1/500)\pi f_1$ [rad/msec], $f_1 = 8$ [Hz]

時間の揺らぎ幅： $r_1 = 0 \sim 40$ [msec] (ランダムに変動)

○ 他の成分

角速度： $\omega_2 = (1/500)\pi f_2$ [rad/msec], f_2 は可変

時間の揺らぎ幅： $r_2 = 0 \sim 250$ [msec] (r_1 とは無関係でランダムに変動)

このようにして算出された擬似誘発電位波形を用いて、以下のシミュレーション①～④を行い、どれだけ真値成分に近い波形の再現が可能かを調べる。

4. シミュレーション①

前報の方法では、100 個の RAW データを最初に 10 個ずつ加算平均処理して 10 のデータ群とし、これらのデータ群に対して相関フィルタ処理を施していた。しかし、この方法ではデータ群を作成するための加算平均処理の段階で、すでに時間の揺らぎ現象により波形が歪んでしまっている。そして、これらのデータ群に対して相関フィルタ処理をしているため、その効果が十分に表われていないものと考えられる。

そこで、シミュレーション①として、他の成分の周波数 f_2 を 10 [Hz] に設定した 100 個の擬似誘発電位波形を用いて、個々の RAW データに対しての相関フィルタ処理（本研究における方法）と 10 個ずつの RAW データを加算平均処理したデータ群に対しての相関フィルタ処理（前報における方法）、そして、100 個の RAW データに対しての加算平均処理（従来から一般的に用いられている方法）をそれぞれ行い比較する。その結果、図 2 に示すように個々の RAW データに対しての相関フィルタ処理の方が、データ群に対しての相関フィルタ処理や加算平均処理の場合よりも、時間の揺らぎ現象の影響を受けることなくほぼ完全に真値成分を再現しており、本研究において改良したプログラムによる相関フィルタ処理が最も有効であることがわかる。

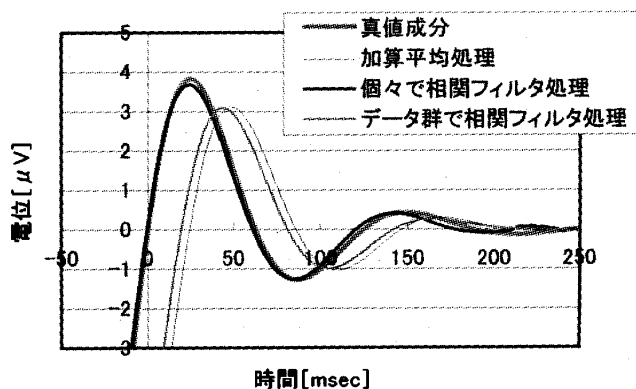


図 2 シミュレーション①結果

5. シミュレーション②

他の成分の周波数 f_2 を 4, 10, 20 [Hz] の 3 パターンでそれぞれ算出した 100 個の擬似誘発電位波形に対して個々に相関フィルタ処理をする。図 3, 5, 7 は各パターンにおける擬似誘発電位波形の一例であり、図 4, 6, 8 はそれらを相関フィルタ処理した結果である。なお、真値成分との比較も行っている。

他の成分の周波数 f_2 が信号成分（真値成分）の周波数 ($f_1=8$ [Hz]) と比べて低い、あるいは若干高い場合の擬似誘発電位波形を処理した結果（図4, 6）については、他の成分（ここではノイズ成分と考える）がほとんど除去され真値成分に近い波形が得られている。また、 f_1 に比べて高周波数の f_2 を含む擬似誘発電位波形を処理した結果（図8）については、ノイズ成分が除去されずに残っている。これは波形のずれ補正時に真値成分だけでなくノイズ成分の位相まで揃えてしまうからであると思われる。 f_2 が高い程ずれ補正が容易であるため、このような結果になる。

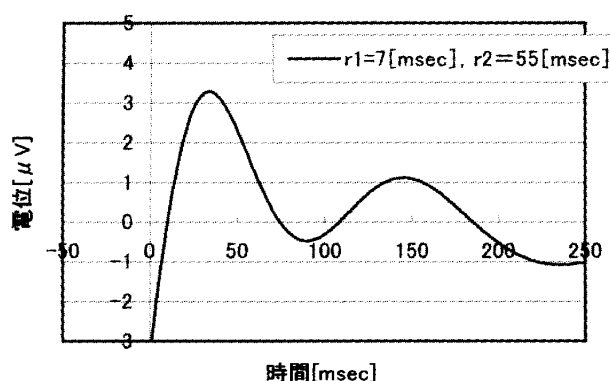


図3 擬似誘発電位波形例 ($f_2=4$ [Hz])

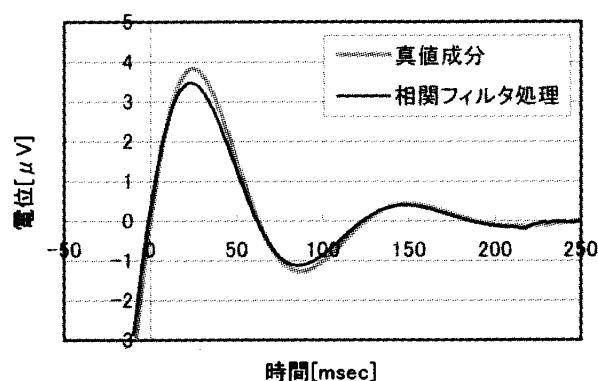


図4 シミュレーション②結果 ($f_2=4$ [Hz])

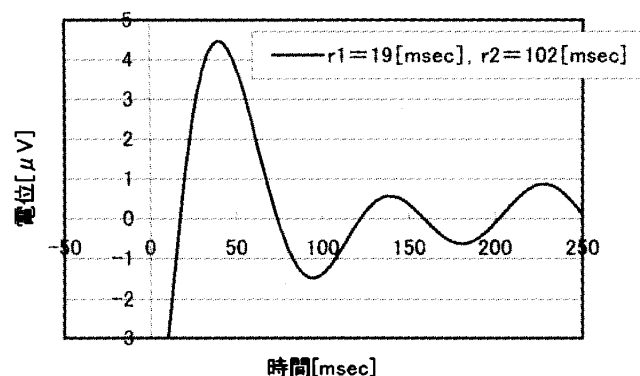


図5 擬似誘発電位波形例 ($f_2=10$ [Hz])

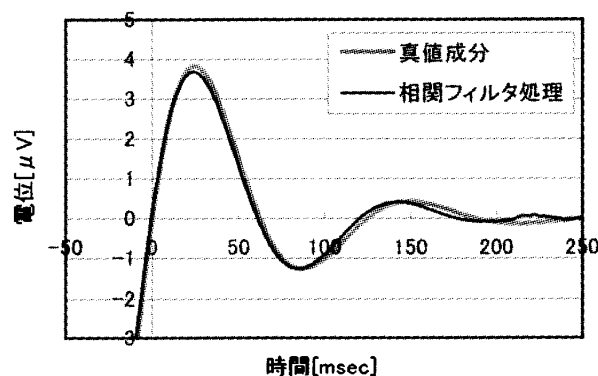


図6 シミュレーション②結果 ($f_2=10$ [Hz])

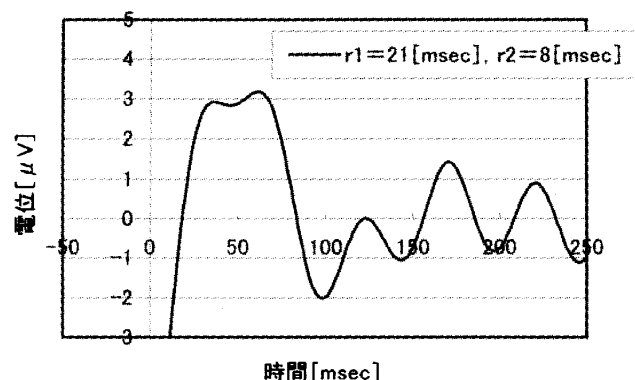


図7 擬似誘発電位波形例 ($f_2=20$ [Hz])

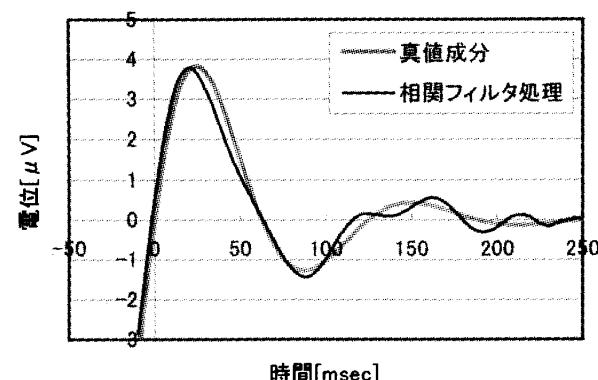


図8 シミュレーション②結果 ($f_2=20$ [Hz])

相関フィルタ処理の効果は他の成分の周波数 f_2 の高低によって差があるものの、周期性のある波形についてはすべて増幅してしまうことがわかる。

6. シミュレーション③

シミュレーション②では、擬似誘発電位における他の成分の周波数 f_2 を各パターンにおいて一定としたが、シミュレーション③ではアーチファクト（この場合は基礎律動）を想定して、 f_2 を 8～13 [Hz]（ α 波の周波数）の範囲内でランダムに与える。このようにして算出した 100 個の擬似誘発電位波形に対して個々に相関フィルタ処理をした結果が図 9 である。 f_2 がランダムに設定されているため、ノイズ成分が増幅されることなくほぼ完全に真値成分のみを取り出すことができ、相関フィルタ処理の効果が十分に発揮されていることがわかる。

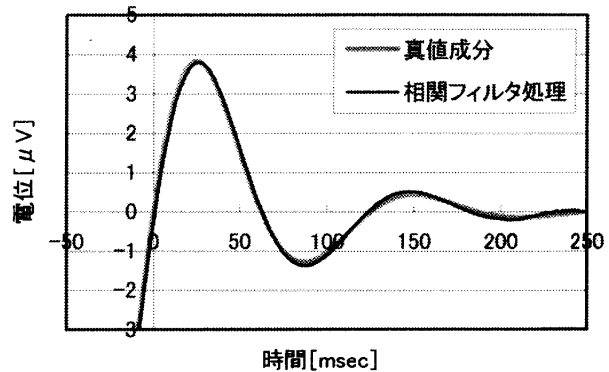


図 9 シミュレーション③結果

7. シミュレーション④

実際の視覚誘発電位波形にさらに近づけるため、シミュレーション③で用いた擬似誘発電位波形に、キンダーマン・モナハン（Kinderman Monahan）の方法に基づき乱数で作成した高周波ノイズ成分を含む波形を 100 個作成した（図 10）。これらの擬似誘発電位波形に対して個々に相関フィルタ処理をしたところ図 11 のような結果になり、相関フィルタ処理が有効に機能していることが確認できる。

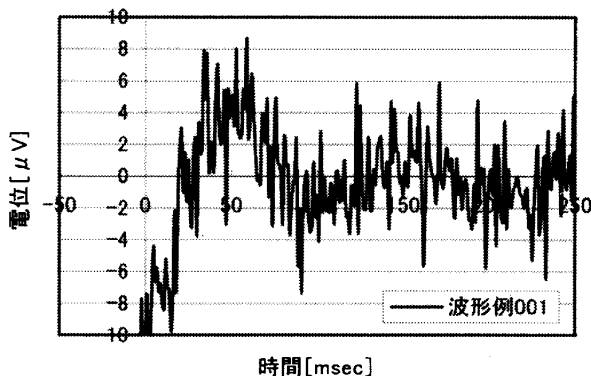


図 10 擬似誘発電位波形例（高周波ノイズを含む）

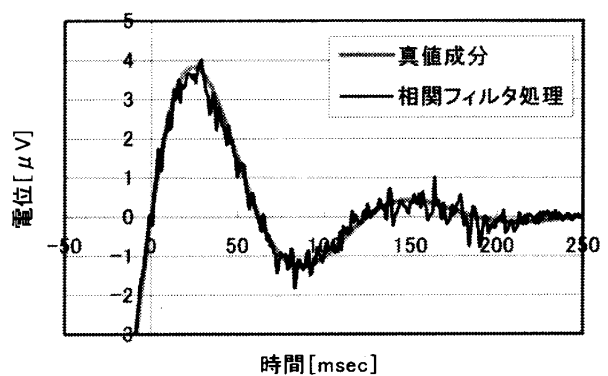


図 11 シミュレーション④結果

8. まとめ

今回改良した相関フィルタ処理プログラムを用いて各シミュレーション解析を行うことにより、前報と比べて一段と信頼性の高い視覚誘発電位の抽出が可能となった。ただし、本研究では、個々

の RAW データに対しての相関フィルタ処理を行っているため、加算平均処理されていないノイズ成分をそのまま含んだ波形の相関をとることになり、相関値計算後のずれ補正位置の判断を難しくしている。したがって今後研究を進めていく上で、処理時におけるずれ位置の判断を明確な基準で統一し、補正を行っていくことが課題となる。

参考文献

- 1) 杉峠洋司, 佐々木 弘: 平成 11 年度電気関係学会北陸支部連合大会講演論文集, p.125 (1999)
- 2) 佐々木 弘, 杉峠洋司: 福井工業大学研究紀要第 30 号 (第一部), p.57-p.62 (2000)
- 3) 坪田秀治, 杉峠洋司, 佐々木 弘: 平成 12 年度電気関係学会北陸支部連合大会講演論文集, p.131 (2000)
- 4) 佐々木 弘, 杉峠洋司, 坪田秀治: 福井工業大学研究紀要第 31 号 (第一部), p.85-p.92 (2001)
- 5) 佐々木 弘, 坪田秀治: 福井工業大学研究紀要第 32 号 (第一部), p.45-p.50 (2002)

(平成 14 年 12 月 6 日受理)