

Swept-Sine法による 食品硬度測定アプリの試作

吉田 成秀、小林 彰人、太田 晶
AIシステム科、日本工学院八王子専門学
akihide.yoshida5@gmail.com

Abstract—（農業施設学会.var）

【目的】 Swept-Sine法を使ったスマートフォンアプリを制作し、安価且つ非破壊的に食品の硬さを評価できるかを検討した。

【方法】ゼラチン量により硬さを変化させた試料に対して、スweep音をスマートフォン底面のスピーカーによって入力し、出力される音波を同面のマイクで測定した。入力信号と試料から出力された音の畳み込み積分により試料のインパルス応答を取得した。

このインパルス応答に対してフーリエ変換を行い算出される周波数特性と硬さとの関係を調査した。

【結果】試料の硬さが増えるほど、周波数特性のピークの周波数は増加する傾向が見られた。よって、本アプリを使って容易に硬さを推定できる可能性が示唆された。

Keywords—Swept-Sine法, 食品硬度, インパルス応答, ゼラチン, スマートフォンアプリ, 非破壊検査

I. イントロダクション

食品の品質評価は、消費者の健康と満足度にとって極めて重要な課題である。現在、食品の品質評価には主に破壊検査と非破壊検査が用いられている。

破壊検査は食品を物理的に切断・損傷させる必要があり、非破壊検査では蛍光指紋分析[1]やPCR法[2]など高度な設備が必要となる。

これらの手法は煩雑であり、一般消費者が手軽に活用することは困難である。そこでスマートフォンなどの携帯端末で、音響特性を利用して簡易かつ非破壊的に食品の品質を評価することを提案したい。

先行研究[3]では、アボカドの熟度を音響的に判別する手法が検討された。しかし、この研究ではイヤホンのスピーカーとマイクを用いている。さらに実験サンプル数も限られていたため、再現性の検証が十分ではなかった。

そこで本研究では、ゼラチン濃度の異なる試料を用いて、Swept-Sine法による音響測定を複数回実施し、その結果の再現性を確認することを目的とする。

ゼラチンを対象とすることで、果物以外の食品への応用可能性も示すことができる。将来的にはスマートフォンの搭載スピーカーとマイクを使って簡易に食品の硬度や食べ頃を推定できる可能性を検討する。

本手法の確立により、一般消費者がスマートフォンで簡易に食品の品質を把握できるようになることが期待される。

II. 実験

A. Swept-Sine法を用いた周波数応答測定

本研究では、食品製品の音響周波数応答を、[3]で用いられたSwept-Sine法を用いて測定する。

この方法は、[4]によって提案され、低周波から高周波へと指数関数的に変化する信号を用いてインパルス応答を測定し、高い信号対雑音比を持つ。

図1は、Swept-Sine法を用いた実験システムと周波数応答の測定フローを示す。

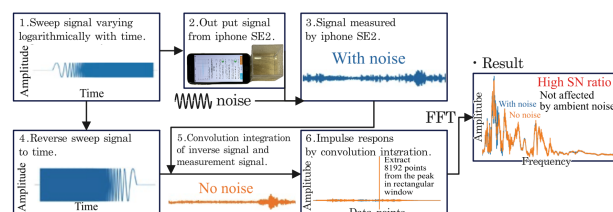


図1 (本実験で用いるアルゴリズムのフロー図)

Sweep信号は計測機器として使用するiphone SE2底部右端のスピーカーを介して再生され、計測機器に存在するLightningコネクタを挟む様に配置されたマイクロフォンによって収集される。

式(1)は生成されたSweep信号の方程式を示す。

$$x(t) = \sin \left(2\pi f_{start} T \frac{\left(\frac{f_{end}}{f_{start}} \right)^{\left(\frac{t}{T} \right)} - 1}{\log \left(\frac{f_{end}}{f_{start}} \right)} \right) \quad (1)$$

(fsはSweepの開始周波数、feはSweepの終了周波数、TはSweepの持続時間、tは時間、サンプリングレートは48 kHz、持続時間Tは5秒、開始周波数fstartは1 Hz、終了周波数fendは20 kHzである。)

式(2)は逆フィルタ方程式を定義したものである。

$$y(t) = x(T - t) \frac{\left(\frac{f_{end}}{f_{start}} \right)^{\left(\frac{t}{T} \right)}}{T} \quad (2)$$

また計測結果の安定化[5]を図る為、式(1),(2)で生成される信号はそれぞれの始点と終点に0.5秒の0Hzの信号を加えている。ここでx(T-t)は式(2)で与えられるSweep信号の時間逆転信号を示している。(fend / fstart)(t/T) / Tで乗算する目的は、時間軸上の指数関数的に増加する周波数を補正する為である。

Sweep信号の周波数が時間とともに指数関数的に増加するため、低周波成分が優勢となり、高周波成分は非常に短くなる。したがって、振幅未補正のインパルス応答は、低周波成分に比べて高周波成分の振幅が小さくなり、全体的な周波数応答が不均一になる。インパルス応答は、この逆フィルタを生成されたSine-Sweep信号の応答と畳み込むことで得ることができる。

Sweep信号は非線形歪みを起こしやすいが、この指数Sweep信号を用いたFarinaの方法では、測定されたインパルス応答のピークより前で非線形歪みが発生する。この特徴により、インパルス応答のピークより前の時間領域を除去することで分離が可能となる。

この研究では、ピークを長方形窓の始点として設定し、ピークの後に8192点を抽出してFFTを行う。通常、測定されたインパルス応答はFFTを行う前にピーク正規化される。

このプログラムの実装では、Swift言語を使用して、生成された信号をスピーカーによって出力し、同時にマイクロフォンから得られる信号を計測機器に保存する。

測定された信号には周囲のノイズと試料の特性が含まれているが、このプロセスにより信号対雑音比が高いインパルス応答が得られ、試料の周波数応答を得ることができる。

B. 測定方法

本実験の目的は試料と、携帯端末を利用した計測装置のSwept-Sine法による計測結果が、結果の再現性に与える影響を検証することである。

そのため、一回の計測ごとに実験装置を用いて試料と計測機器を設置しなおした後、実験装置を取り除くことで、繰り返し周波数特性の測定を実施した。

図2に実験装置の概要を示す。

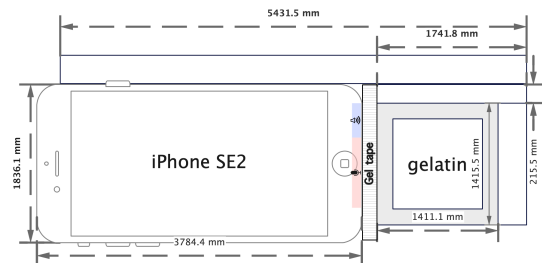


図2(試料を固定するのに利用した計測装置。また、計測結果の安定化を図る(16))ため、試料と計測機器との間にはseriaの厚さ1mm幅2cmのゲルテープを使用している。)

また計测试料の硬さをSwept-Sine法によって判別可能であることを検証するため、アクリルケースにゼラチンと水を混ぜて硬化させたもの(本実験で用いるゼラチンは、森永社のクックゼラチン(一袋でゼラチン5gを含むもの)を使用し、アクリル製の4つの各ギフトボックス(Xcm*Ycm)に投入したXmlの水に対してそれぞれ3.25g,5g,7.5g,10gのゼラチンを投入後、かき混ぜ、冷やしたものを使用し、スマートフォンはapple社のiPhone SE3を用いるものとする。)を、それぞれゼラチンの量を4つに分けたものを作成し、各18回づつの合計72回実験を行うことによって、再現性の検証を行った。

III. 結果

図3に異なるゼラチン試料の周波数特性を示す。なお10g以外の、3.25g,5g,7.5gの各計測結果は目視ではいつ計測したものか分類不可能であるほど同じであった為、10gの結果のみ全計測結果のうち最も類似した計測結果が多かったパターンを記載する。

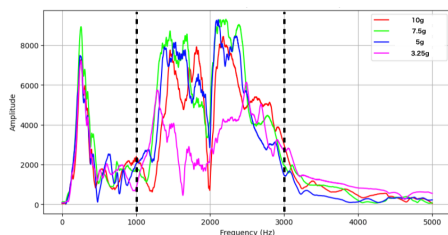


図3 (横軸は0~5kHzまでの周波数[Hz]、縦軸は振幅である。また赤は10g,緑は7.5g,青は5g,ピンクは3.25gであり、図内の点線区間①は特に振幅に反応があった周波数の領域を示す。)

1~3kHz間で2つの大きな周波数特性において非常に高い振幅が確認することができ、2kHzでは振幅が大きく減少していた。また同区間において、10g,7.5g,5g,は比較似たような振幅であるのに対し、3.25gだけは振幅が他と比べて少なかった。

この結果から、先行研究ではピークとなる周波数は1つしか出ないと報告されていたが、本研究では複数見られた。これは試料であるゼラチンが、アクリルのケースに入っていた為に、アクリルケースの音響特性も含めた計測結果になったからだと思う。

次に今回の計測結果が実際にゼラチン含有量の分類に有効なのかを確認するために、図4に、72回の各計測データに対して主成分分析を行った結果を三次元で示す。

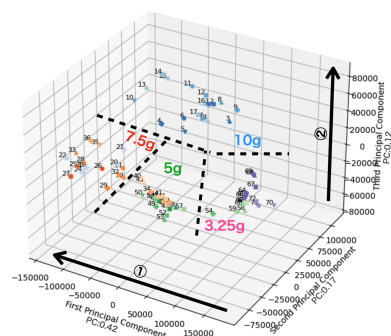


図4 (ここでのx軸は第一主成分であり、y軸は第二主成分、z軸は第三主成分としている。)

3.25g(52-72),5g(37-52),7.5g(19-36),10g(1-18)の各点はそれぞれ比較的同じような場所に集合していることが確認でき、ゼラチン量が少なくなるほど、計測結果ごとの点の位置は、安定して同じ位置に集中しやすかった。また図に示した、第一主成分(①)と第三主成分(②)は各ゼラチンの含有量に対して、3.25g,5g,7.5g,10gの順に量が多くなるほど寄与率が増加する傾向があり、10gは他の主成分と比較して、第二主成分に強い反応を示した。

IV. 考察

今回の計測結果は[3]の実験結果とは異なるものであったが、結果を主成分分析することによって、ゼラチン含有量ごとの違いを視覚的に確認することができた。

したがって本研究の目的であった、携帯端末を利用した、Swept-Sine法による計測結果の再現性を十分に確認できたと考える。

また主成分分析の結果から、計测试料がアクリル製のギフトボックスのような、硬い物質で覆われていても、問題なく結果はゼラチン量ごとにまとまっていたことから、ゼラチンに直接計測機器を使用しなくても、梱包材の上から計測対象の、ゼラチン含有量の違いを分類できる可能性があり、スーパーなどの食品売り場などで、梱包材に包まれた食用肉などの鮮度を、スマートフォンを使って、誰でも気軽に計測するなどといった活躍が期待できる。

今後の展望としては、実際にスーパーなどで販売している果物を使用することによって、果物の鮮度を判別することは可能なのか、またその結果を、ディープラーニングなどの数値予測AIを使って計測結果を分類することは実際に可能なのか検証を行う必要がある。

参考文献

[1]蛍光指紋による食品の品質評価技法とその応用

[2]培養によらないかび毒生産菌種検出法の開発

[3]Relationship between Food Hardness and Frequency Response Using Swept-Sine Technique

[4] Simultaneous measurement of impulse response and distortion with a swept-sine technique,

[5]雑音に起因する誤差を最小化するインパルス応答測定信号

[6]Ultrasound therapy: A comparative study of different coupling media