

平成 30 年 5 月 5 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26450353

研究課題名(和文) 音響センサによる穀物重量・水分の推定及び収量コンバイン・穀物乾燥機への応用

研究課題名(英文) Acoustic sensor for estimating grain mass and moisture content and its application to yield-monitoring combine and stationary grain drier

研究代表者

庄司 浩一 (SHOJI, Koichi)

神戸大学・農学研究科・准教授

研究者番号：10263394

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：昨今のIT農業における実用的なセンサとして、穀粒の衝撃音をイヤホンで感知し、コンバイン上での収穫質量と水分、穀物乾燥機上で水分の推定を行った。コンバインの穀粒タンク内では別途用意した小型の衝突板に、乾燥機では側壁に市販のセラミックイヤホンを装着した。籾およびコムギの収穫時に出力を積算して実際の収穫質量と対応させると、単純な線形回帰でも標準誤差1 kg程度を得た。時系列の信号を周波数領域の音響スペクトルに演算しなおし、任意の2周波数バンドを選択して水分推定を行うと、標準誤差は籾で0.4%、コムギで0.8%を得た。乾燥機でも同様の手法で籾の水分推定を行ったところ、標準誤差0.1%を得た。

研究成果の概要(英文)：To function as a practical sensor for current information-based agricultural practices, impact sound of the grain was acquired with an earphone to estimate harvested mass and moisture content on the combine, and the moisture content on the stationary grain drier. A commercially available ceramic earphone was attached on a small impact plate in the grain tank of the combine, and on the side wall of the drier. On the combine, the cumulative output was calibrated to the harvested mass of paddy and wheat grains, and the standard error obtained with simple linear regression was about 1 kg. The time-series outputs of the sensor were then converted into acoustic spectra in frequency domain. By selecting two frequency bands of the spectra for the estimation of grain moisture content, the standard error was 0.4% (w.b.) for paddy and 0.8% (w.b) for wheat on the combine. The same method was applied to the drier and the standard error of 0.1% was obtained for paddy grain.

研究分野：農業機械学

キーワード：IT農業 籾 コムギ イヤホン 積算値 高速フーリエ変換 回帰 標準誤差

1. 研究開始当初の背景

(1) 多様なばらつきがある圃場で各種情報の記録と管理を行うことで品質・収量の向上、ひいては農業経営の改善を目指すことを目的とした、精密農業、スマート農業、あるいはIT農業と称される方法が普及段階にある。この中でも穀粒に関する情報、すなわち収量や水分の測定は、作業者が直接記録することなく情報が蓄積されるように実用化がなされ、いわゆる収量コンバインが市販されている。

収量(実質的に穀粒の質量)の測定には、穀粒タンクの重量を直接測定する方法と、搬送中の穀粒の衝撃力を積算して推定する方法が実用化されている。水分の測定には、乾燥調製施設での技術を応用して、電気抵抗や静電容量、場合によっては近赤外分光法が用いられる。

(2) 現状ではコンバインにセンサが組み込み状態でしかも上位機種だけに限定して販売され、価格も相応の上乗せとなっているために、これらの情報の取得と利用が一般的になりにくい現実がある。特に水分測定にはコンバイン内で穀粒のバイパス回路を設ける必要があるために、収量センサよりもさらに普及が遅れている。

2. 研究の目的

(1) 農作業計画上重要な情報である穀粒(籾およびコムギ)の質量および水分を、コンバイン上に後付可能な、一般に入手しやすい安価なセンサを用いて測定する。将来的にユーザ自身でも手軽に校正できるように、できるだけ単純な校正方法に配慮する。

(2) このうち穀粒水分については、同様の手法で定置の穀物乾燥機への応用を試みる。

3. 研究の方法

(1) コンバイン(自脱2条刈)の穀粒タンク内の揚穀オーガから投てきされる穀粒を受ける部分に、セラミックイヤホンと衝突板からなる音響センサを設置した。自励式の電磁ピックアップ(近接スイッチ)も設置し、投てきのタイミングを検知した(図1)。これらの信号はカードレコーダに記録した。衝突板には塩ビと鉄を用意し、コムギおよび籾で刈取実験を行った。収穫質量と水分は都度測定した。



図1 自脱コンバインの穀粒タンク内での計装

(2) 縦型乾燥機(2000kg)の昇降機上方で穀粒が投てきされ衝突する曲面にイヤホン1を、天井下の横送りオーガと接続した中央の均分器から穀粒が投てきされ衝突する側壁にイヤホン2を接着した(図2)。二つの信号をPCMレコーダに収録し、乾燥中に操作パネルに示される穀粒水分を定点カメラで連続撮影した。籾水分を測定対象とした。



図2 穀物乾燥機への計装 (a)正面, (b)側面上方

4. 研究成果

(1) イヤホンの出力は交流成分しか持たないため、出力を絶対値に直してから積算した。なお、穀粒が投てきされていない時の機械振動などに起因する信号をあらかじめ積算した結果を差し引いて補正を行った。音響センサの出力は籾ではコムギの約3倍、鉄板では塩ビ板の約3倍となった。図3に示すとおり、出力が大きい組み合わせの場合(下)は、S/N比が向上して有利と見られた。いずれの場合でも、穀粒の収穫質量の推定精度は、最も単純な線形回帰を用いた場合でも、標準誤差が1kg前後と実用的な結果が得られた。この結果を水田全体に適用し、収量マップの作成も可能であった(図4)。

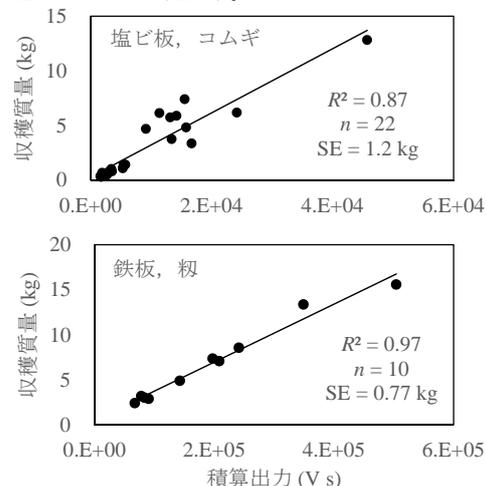


図3 音響センサから穀粒収穫質量の推定例

121	542	560	515	443	415	302
623	656	663	661	520	268	
117	604	601	615	604	638	573
497	543	403	428	583	653	
522	604	538	505	649	655	240
445	490	609	639	625	680	257

0 m 100 m

図4 音響センサ出力, 作業幅(固定), 走行時間から作成した収量マップ例(玄米換算, kg/10a)

(2) 揚穀オーガから投てきがあるごとに 1024 点にて高速フーリエ変換を行い, これを 1 行程にわたって平均した音響スペクトルを作成した(図5下)。水分と各周波数の振幅との相関係数を求めたところ(図5上, 中), 粳でもコムギでも 6 kHz 以上において, 相関係数は概して-1 に近く, 水分が高いほど衝撃音が鈍くなるというオペレータの感覚, および定置での報告りと合致した。音響スペクトルから, 任意の周波数バンド 2 つを独立変数にして重回帰を行い, 水分を推定した。バンド数は 512 のため, $512C_2 = 130816$ の場合について標準誤差を計算し, 誤差が小さい組合せとなった例を表1に示す。粳, コムギとも標準誤差 1% 未満が得られ, 実用的に利用可能と考えられる。

用いる周波数バンドが決まれば, 実際にユーザが自分で水分の較正を行う際には, 最少で 2 段階の水分の穀粒を用意して信号を記録すればよい。このように周波数バンドを固定する考え方は, 過去に実用化はされていないものの, アナログのバンドパス回路を組み合わせて水分推定を行う手法としてかなり前に方法だけが提示されたことがあった²⁾。本研究での手法はデジタル信号処理であるものの本質は同じであり, 音響特性による水分推定が実用的に実行可能であることを, 圃場でのデータを揃えて実証した結果となっている。

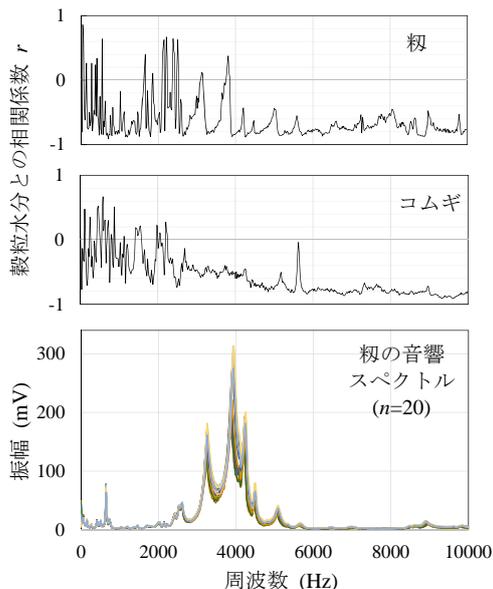


図5 音響スペクトルの概形と穀粒水分との相関

表1 穀粒水分の推定における標準誤差が小さい周波数の組合せ結果

穀粒・水分・標準誤差	周波数 1 (Hz)	周波数 2 (Hz)	標準誤差 (% w.b.)	
粳	3925	156	0.39	
	3925	273	0.36	
	3925	8359	0.40	
	19.0 ~ 23.1%	4257	292	0.37
		4257	703	0.37
	n = 20	4257	2285	0.40
		4257	2421	0.39
コムギ	4257	8085	0.38	
	3671	6113	0.40	
	9609	2676	0.77	
	9609	2012	0.89	
	17.5 ~ 29.5%	9453	1563	0.88
		9453	2012	0.86
	n = 22	9472	2676	0.82
	9492	2676	0.85	

(3) 供試乾燥機はテンパリング方式であり, 約 40 秒周期で貯留部から乾燥部に穀粒が一定量放出されるのに対応して, 約 20 秒間にわたってイヤホン 1 で, 少し遅れてイヤホン 2 で信号が検出された。いずれも投てき毎に 1024 点で高速フーリエ変換を行い, 1 回の放出にわたって平均して音響スペクトルを作成した(図6下)。任意の 2 周波数バンドで重回帰にて水分推定を試みたところ, イヤホン 1 で 0.5% (7429 + 9668 Hz), イヤホン 2 で 0.1% (6890 + 8441 Hz) と実用的な標準誤差を得た。現行の水分測定法を補完する形で, 非破壊かつリアルタイムでの水分測定ができ, より細かいプロセス制御への応用が期待される。

ただし, イヤホン 1 のスペクトルと水分の相関は, どの周波数でも+1 近くとなったため, 水分変化によるバケットでの汲取り量の違いをそのまま反映してしまった可能性がある。一方で, イヤホン 2 では前節と同様に負の相関となったため(図6上), こちらの方が水分変化による音の変化をより正確に反映していると考えられる。残念ながらイヤホン 2 で感知した信号のもととなる穀粒の投てきを発生する均分器が, 水分 17% 以下でしか作動しない設定となっていたため, 応用の際には高水分域での確認が必要である。

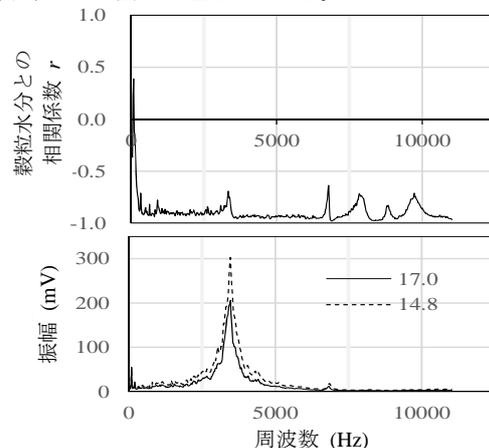


図6 穀物乾燥機におけるイヤホン 2 の音響スペクトル(下)と粳水分との相関(上)

<引用文献>

- 1) Amoodeh, M.T., Khoshtaghaza, M.H., Minaei, S.: Acoustic on-line grain moisture meter. Computers and Electronics in Agriculture, 52 71-78, 2006.
- 2) 内山 淑宏, 小竹一男, 山田隆史, 平野俊樹. 穀粒の含水率測定方法. 特開昭 61-107138, 1986.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計4件)

- ① 庄司浩二. 穀物乾燥機へのイヤホン装着による水分測定を試み. 農業食料工学会関西支部報, 査読無, 123, 2018, 55-56.
- ② Shoji, K. Estimating moisture content of paddy rice and wheat kernel on the combine using acoustic spectrum. ASABE Paper, 査読無, 2017, No. 1700910. DOI: 10.13031/aim.201700910
- ③ 庄司浩二. イヤホンを用いたコンバイン上での穀物含水率測定. 農業食料工学会関西支部報, 査読無, 121, 2017, 61-62.
- ④ Yokono, T., Shoji, K., Ushio, A., Kawamura, T. Estimation of moisture content and weight of grain from the impact sound on the combine. Proceedings of ISMAB 2016, 査読無, 2016, 581-585.

[学会発表] (計7件)

- ① 庄司浩二. 穀物乾燥機へのイヤホン装着による水分測定を試み. 農業食料工学会関西支部第138回例会, 金沢, 2017.11.
- ② 庄司浩二. 音響センサによるコンバイン上での穀物含水率測定. 第76回農業食料工学会年次大会, 東京, 2017.9.
- ③ Shoji, K. Estimating moisture content of paddy rice and wheat kernel on the combine using acoustic spectrum. ASABE (American Society of Agricultural and Biological Engineers) Annual International Meeting, Spokane, USA, 2017.7.
- ④ 庄司浩二. イヤホンを用いたコンバイン上での穀物含水率測定. 農業食料工学会関西支部第136回例会, 福山, 2016.9.
- ⑤ Yokono, T., Shoji, K., Ushio, A., Kawamura, T. Estimation of moisture content and weight of grain from the impact sound on the combine. ISMAB2016 - The 8th International Symposium on Machinery and Mechatronics for Agricultural and Biosystems Engineering. Niigata, Japan, 2016.5.

- ⑥ 横野 喬, 庄司浩二, 牛尾昭浩, 川村恒夫. 衝突音を用いたコンバイン上での穀物含水率推定. 農業環境工学関連学会 2015年合同大会, 盛岡, 2015.9.

- ⑦ 荒井圭介, 庄司浩二, 松本 功, 牛尾昭浩. コンバイン用簡易収量センサの開発. 第50回農業食料工学会関東支部年次大会, 静岡, 2014.8.

6. 研究組織

(1)研究代表者

庄司浩一 (SHOJI, Koichi)
神戸大学・大学院農学研究科・准教授
研究者番号: 10263394

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし

(4)研究協力者

牛尾昭浩 (USHIO, Akihiro)
松本 功 (MATSUMOTO, Isao)
川村恒夫 (KAWAMURA, Tsuneo)
荒井圭介 (ARAI, Keisuke)
横野 喬 (YOKONO, Takashi)