

称号及び氏名 博士（学術）宮本 宗徳

学位授与の日付 平成 17 年 3 月 31 日

論文名 「コンバインの性能改善に関する研究
ータグチメソッドと ANN の応用ー」

論文審査委員 主査 村瀬治比古
副査 藤浦 建史
副査 小山 修平

論文要旨

1. 序論

コンバインは農業機械の中でも特に農作業者の労力を低減し、効率的な農作業体系の確立に貢献している。昨今、海外から安価な農産物が供給され、また環境負荷低減の観点と相まってコンバインのさらなる作業効率、経済効率の向上が求められている。このような背景のもとコンバインの研究開発において課題となっているのは、様々な作物条件や刈取条件のもとで作業を行うため、それらの条件の変化に対するロバスト性をいかに改善するかという点である。様々な作物条件とは、例えば、籾の水分等で、また、刈取条件とは運転者（オペレータ）による速度の違いや刈取高さの違い等である。

これに対して考えられる有効な手法はタグチメソッドである。タグチメソッドは、SN 比という指標が誤差因子（環境のばらつきなど）に対してロバストなシステムを設計することにおいて有用であることから、さまざまな製品の品質向上を図るための手法として利用されている。この手法では、制御因子（設計因子）に各因子間の交互作用の小さいものを選定する必要がある。この選定過程

が手法を正しく適用するために重要となる。しかし、あらかじめ全ての因子間の交互作用を実験的に求めることは現実的に不可能であり、それゆえコンバインの研究開発においてはタグチメソッドの適用が進んでいないのが実情である。さて、近年 ANN（ニューラルネットワーク）はさまざまな非線形システムのモデル化に利用されている。そこで本研究では、ANN により非線形システムであるコンバインのシステムを記述することができれば、あらかじめタグチメソッドを適用する上で問題となる制御因子間の交互作用を明らかにすることができるのではないかという点に着目し、ANN によるモデル化とタグチメソッドによるロバスト設計手法を組み合わせた新しいコンバインの設計手法を確立した。本研究では、まずコンバインのシステムを想定した非線形数学モデルに対して、提案する手法の有効性を示す。そしてコンバインの選別部および脱穀部の設計に本手法を適用することにより性能改善を図る。

2. 数学モデルによる理論的検討

本研究ではコンバインの一システムを表す関数としてひとつの非線形数学モデルを与えた。この数学モデルにランダムに 50 通りの入出力関係を計算させ、一方では、従来よりコンバインの試験結果を分析する手法として多用してきた重回帰分析によるモデル化を行い、他方では ANN によるモデル化を行った。ANN 学習は 3 層階層型 ANN を用いて行い、約 1 万回学習後に教師データとの平均二乗誤差が 0.01 以下に収束するという結果を得た。

次にそれぞれのモデルの精度を検証するために、未学習のデータとして新たにランダムな 20 通りの計算を数学モデルで行い、重回帰分析により得られた回帰式と ANN モデルのモデル化精度を比較した。その結果 ANN が回帰式よりもモデル化精度が高いという結果を得た。

さらに構築した ANN を用いて、各制御因子間の交互作用の検証が可能であるかについて検討した。構築した ANN を用いて感度解析を行い、一組の制御因子間に大きな交互作用（組み合わせの効果）があることがわかった。これより構築した ANN を用いて、制御因子間の交互作用を検証できることを確認した。タグチメソッドを適用するにあたっては、このような交互作用をあらかじめ考慮することは、利得の再現性の観点から信頼できる制御因子の要因効果を得る上で非常に有効である。

次に交互作用を考慮することなくタグチメソッドに基づき L18 直交表を利用して制御因子の要因効果を求める方法と、交互作用を考慮した上で要因効果を求める方法を、要因効果の利得の再現性より比較検討した。その結果、交互作用を考慮しない場合、利得は再現せず、得られた要因効果が信頼できないものであることがわかった。これに対し、交互作用を考慮した場合は利得が再現し、信頼できる要因効果を得ることができた。さらに構築した ANN モデルを用いて L18 直交表に基づくシミュレーションを行って得られる制御因子の要因効果の精度を、利得の再現性より検討した。その結果、数学モデルより計算した場合よりも精度はやや低下するものの、利得が判定基準内で再現していることから得られた要因効果が信頼できるものとなっていることを確認した。これは、L18 直交表に割り付けた試験を行うことなく、ANN を用いてシミュレーションを行うことにより、信頼できる要因効果を得たことを示しており、実際のコンパインの研究開発業務において、非常に大きな工数低減をもたらすことを示している。これらの過程を通して提案する ANN とタグチメソッドを組み合わせた手法の有効性を示した。

3. 選別性能向上試験

脱穀部で脱穀されてワラより脱粒した籾は、細くなったワラくずや稈とともに選別部に漏下する。選別部では揺動装置の揺動運動と唐箕ファンにより穀粒が選別される。選別性能を表す指標は、籾タンクに回収される籾流量(1)、回収される籾の選別の良好さとして、含まれるワラくずの割合(2)および含まれる稈の割合(3)、籾タンクに回収されずに脱穀機内の還元物として再選別される籾流量(4)、そして選別部で回収が不可能で機外に排出してしまう穀粒損失(5)の5つであり、これらを特性値とした。制御因子は、(1)揺動フルイ線の運動、(2)主唐箕ファン風量、(3)副唐箕ファン風量、(4)チャフシリーブピッチ、(5)チャフシリーブ長さ、(6)グレンシリーブ長さ、(7)グレンシリーブ高さ、そして(8)グレンシリーブと選別板の距離の8つとした。また誤差因子は籾水分および被選別物の供給速度とした。これら設定した因子を用いて試験装置による試験を行い、結果を3層階層型 ANN により学習させた。ANN は約 1.5 万回学習後に特性値の教師データとの平均二乗誤差が 0.01 以下に収束した。構築した ANN により制御因子間の交互作用検証後にタグチメソッドに基づき制御因子の要因効果を求めた。得られた要因効果をもとに特にグレンシリーブ高さを変更した試験機を設計し、圃場試験を行ったところ、選別性能を改善することができた。

4. 脱穀性能向上試験

刈取部より供給された作物は、脱穀部にて回転する扱胴により穀粒が脱穀され、分離される。脱穀性能を表す指標は、所要動力(1)、脱穀部で脱穀、分離しきれずに機外に排出してしまう穀粒損失(2)そして選別部への漏下量(3)の3つであり、これらを特性値とした。制御因子は(1)受網種類、(2)送塵弁前形状、(3)送塵弁中形状、(4)送塵弁後形状、(5)扱胴スクリー形状、(6)扱歯形状、そして(7)扱胴位置の7つとした。誤差因子は作物の草穀比に設定した。草穀比はコンバインに

刈取られる作物のワラ流量と穀粒流量の比（ワラ流量／穀粒流量）のことで、この草穀比によって脱穀部の性能が左右される。例えば、ワラが多い（草穀比が高い）場合は、脱穀部における所要動力が大きくなり、またワラが少ない（草穀比が小さい）場合は、脱穀部穀粒損失を増加させることがある。この草穀比は、作物の生育条件や、コンバイン作業者の運転方法（作物を高めにかいたり、低めにかいたりすること）によって変化するものである。また作物の供給流量を信号因子とした。これら設定した因子を用いて試験装置による試験を行い、結果を3層階層型 ANN により学習させた。ANN は約 1.5 万回学習後に特性値の教師データとの平均二乗誤差が 0.01 以下に収束した。構築した ANN により制御因子間の交互作用検証後にタグチメソッドに基づき制御因子の要因効果を求めた。得られた要因効果をもとに特にスクリー形状を変更した試験機を設計し、圃場試験を行ったところ、脱穀性能を改善することができた。

5. 結論

本研究では、ANN によるモデル化とタグチメソッドによるロバスト設計手法を組み合わせた手法を開発し、従来の方法に比べ効率的にコンバインの性能向上を図ることが可能であることを示した。以下結論を示す。

- 1) コンバインのシステムを想定した非線形数学モデルを用いて提案する手法の有効性を示した。
- 2) 提案する手法をコンバインの選別部の設計および脱穀部の設計に実際に適用することで、効率的に性能向上を図ることができた。
- 3) 本研究で開発した ANN によるモデル化とタグチメソッドによるロバスト設計手法を組み合わせた手法がコンバインの性能向上を図る高効率な手法であることが明らかとなった。

審査結果の要旨

コンバインは農業機械の中でも特に農作業者の労力を低減し、効率的な農作業体系の確立に貢献している。昨今、海外から安価な農産物が供給され、また環境負荷低減の観点と相まってコンバインのさらなる作業効率、経済効率の向上が求められている。このような背景のもとコンバインの研究開発における課題は、様々な作物条件や刈取条件のもとで作業を行うため、それらの条件の変化に対するロバスト性をいかに改善するかという点である。これに対して考えられる有効な手法はタグチメソッドである。タグチメソッドは、ロバストなシステムを設計することにおいて有用であることから、さまざまな製品の品質向上を図るための手法として利用されている。しかし、コンバインについては、あらかじめ全ての因子間の交互作用を実験的に求めることが現実的に不可能であることから、タグチメソッドの適用が進んでいない。

近年 ANN（ニューラルネットワーク）はさまざまな非線形システムのモデル化に利用されている。本研究では、その ANN により非線形システムであるコンバインのシステムを記述し、あらかじめタグチメソッドを適用する上で問題となる制御因子間の交互作用を明らかにすることで、コンバインの設計にタグチメソッドを適用可能にする手法を確立した。

まず、本研究ではコンバインの一システムを表す関数としてひとつの非線形数学モデルを与えた。この数学モデルにランダムに 50 通りの入出力関係を計算させ、一方では、従来よりコンバインの試験結果を分析する手法として多用してきた重回帰分析によるモデル化を行い、他方では ANN によるモデル化を行った。ANN 学習は 3 層階層型 ANN を用いて行い、約 1 万回学習後に教師データとの平均二乗誤差が 0.01 以下に収束するという結果を得た。

次にそれぞれのモデルの精度を検証するために、未学習のデータとして新たにランダムな 20 通りの計算を数学モデルで行い、重回帰分析により得られた回帰式と ANN モデルのモデル化精度を比較した。その結果 ANN が回帰式よりもモデル化精度が高いという結果を得た。

さらに構築した ANN を用いて、各制御因子間の交互作用の検証が可能であるかについて検討した。構築した ANN を用いて感度解析を行い、一組の制御因子間に大きな交互作用（組み合わせの効果）があることがわかった。これより構築した ANN を用いて、制御因子間の交互作用を検証できることを確認した。タグチメソッドを適用するにあたっては、このような交互作用をあらかじめ考慮することは、利得の再現性の観点から信頼できる制御因子の要因効果を得る上で非常に有効であることを示した。

コンバインの脱穀部で脱穀された籾は、細くなったワラくずや稈とともに選別部に漏下する。選別部では揺動装置の揺動運動と唐箕ファンにより穀粒が選別される。選別性能を表す指標は、籾タンクに回収される籾流量(1)、回収される籾の選別の良好さとして、含まれるワラくずの割合(2)および含まれる稈の割合(3)、籾タンクに回収されずに脱穀機内の還元物として再選別される籾流量(4)、そして選別部で回収が不可能で機外に排出してしまう穀粒損失(5)の 5 つであり、これらを特性値とした。制御因子は、(1)揺動フルイ線の運動、

(2)主唐箕ファン風量, (3)副唐箕ファン風量, (4)チャフシープピッチ, (5)チャフシープ長さ, (6)グレンシープ長さ, (7)グレンシープ高さ, そして(8)グレンシープと選別板の距離の8つとした。また誤差因子は籾水分および被選別物の供給速度とした。これら設定した因子を用いて試験装置による試験を行い, 結果を3層階層型 ANN により学習させた。ANN は約 1.5 万回学習後に特性値の教師データとの平均二乗誤差が 0.01 以下に収束した。構築した ANN により制御因子間の交互作用検証後にタグチメソッドに基づき制御因子の要因効果を求めた。得られた要因効果をもとに特にグレンシープ高さを変更した試験機を設計し, 圃場試験を行ったところ, 選別性能を改善することができた。

刈取部より供給された作物は, 脱穀部にて回転する扱胴により穀粒が脱穀され, 分離される。脱穀性能を表す指標は, 所要動力(1), 脱穀部で脱穀, 分離しきれずに機外に排出してしまう穀粒損失(2)そして選別部への漏下量(3)の3つであり, これらを特性値とした。制御因子は(1)受網種類, (2)送塵弁前形状, (3)送塵弁中形状, (4)送塵弁後形状, (5)扱胴スクリー形状, (6)扱歯形状, そして(7)扱胴位置の7つとした。誤差因子は作物の草穀比に設定した。草穀比はコンバインに刈取られる作物のワラ流量と穀粒流量の比(ワラ流量/穀粒流量)のことで, この草穀比によって脱穀部の性能が左右される。例えば, ワラが多い(草穀比が高い)場合は, 脱穀部における所要動力が大きくなり, またワラが少ない(草穀比が小さい)場合は, 脱穀部穀粒損失を増加させることがある。この草穀比は, 作物の生育条件や, コンバイン作業者の運転方法(作物を高めに刈ったり, 低めに刈ったりすること)によって変化するものである。また作物の供給流量を信号因子とした。これら設定した因子を用いて試験装置による試験を行い, 結果を3層階層型 ANN により学習させた。ANN は約 1.5 万回学習後に特性値の教師データとの平均二乗誤差が 0.01 以下に収束した。構築した ANN により制御因子間の交互作用検証後にタグチメソッドに基づき制御因子の要因効果を求めた。得られた要因効果をもとに特にスクリー形状を変更した試験機を設計し, 圃場試験を行ったところ, 脱穀性能を改善することができた。

審査委員会の所見

本研究において申請者は, ANN によるモデル化とタグチメソッドによるロバスト設計手法を組み合わせた手法を提案した。コンバインの選別部の設計および脱穀部の設計に実際に適用することで, 効率的にその性能を向上させることが可能であることを実証することにより ANN を用いたシステムのモデル化とタグチメソッドによるロバスト設計手法を組み合わせた手法がコンバインの性能向上を図る高効率な手法であることを明らかにした。本研究は, 感性工学の主要な手法の一つである知的情報処理法を利用して生物-機械系を対象とする分野で植物感性工学の発展に大きく貢献するものであり, 最終試験の結果と併せて, 博士(学術)の学位を授与することを適当と認める。