

配信先：大阪科学・大学記者クラブ、文部科学記者会、科学記者会

2025 年 11 月 18 日

大阪公立大学

航空機整備を支援するナット締め付けシステムの開発

迅速かつ高精度な締め付け作業を可能にする技術的アプローチ

<ポイント>

- ◇航空機の組み立てに使用するセルフロックナット※¹ を自動で締め付けるハンドナットランナ※² のための自動着座※³ 検知システムを開発。
- ◇作業者の熟練度に依存せず、短時間で正確な締め付けが可能になることで、検査工程の効率化と作業の安全性向上に貢献。

<概要>

航空機を組み立てる際、緩みにくいセルフロックナットを使用します。しかし、このナットは緩み防止のため変形加工されており、ハンドナットランナでネジ締め付けを行ったとしてもネジ締め付け完了を自動検知することが難しく、締め付け過剰によりネジが破損しボルトのネジ部に傷が入る可能性があります。そのため、手動工具を用いて締め付け状態を確認しなければならず、時間や手間がかかるという課題がありました。また、通常のナットランナで使用されているトルク※⁴ 値を直接用いた単純な自動判定法はセルフロックナットでは誤判定してしまうリスクが高いため、ハンドナットランナへ高精度な自動着座検知機能を搭載することが求められていました。

大阪公立大学大学院情報学研究科の中島 智晴教授、楠木 祥文講師らの研究グループは、データの異常を統計的に検出できるホテリング理論※⁵ を応用し、進化計算※⁶ の一種である CMA-ES (進化的戦略) ※⁷ という方法を使って、判定式の中で使用する 3 つの係数を、自動的に最適な値に調整するシステムを開発しました。この技術により、人が手動工具を使って行っていた締め付けの調整作業を、自動で機械が行えるようになり、作業の効率化と品質の安定化が実現できます。また、364 本の締め付けデータで最適化された係数を評価用 30 本で検証した結果、着座時刻※⁸ の平均誤差を従来比約 4 分の 1 (約 2.3 秒→0.5 秒) へ削減しました。今後、今回提案したシステムをハンドナットランナに組み込むことで、長年の経験と高い技術力を持った熟練工でなくても、技術スキルに左右されず短時間で正確な締め付けが可能となり、検査工数削減と安全性向上に役立つことが期待されます。



図 1：ハンドナットランナで締め付けを行う様子

本研究成果は、2025 年 11 月 15 日に学会誌「知能と情報」に掲載されました。

人工知能的手法を用いた社会貢献ができる機会をいただいて意欲的に取り組みました。共同研究者である株式会社ユタニさんには厚く御礼申し上げます。データ取得のため設置したロボットを見せていただいたときは感動しました。今後も基礎的研究と社会貢献を続けていきます。



中島 智晴教授

<研究の背景>

航空機を組み立てる際には、ゆるみにくいセルフロックナットが数百万個単位で使われます。しかしこのナットは変形した特殊構造を持つため、締め付け中のトルク値が激しく揺れ、「着座」を機械が検知しにくいという課題がありました。熟練工は感覚で判断できますが、熟練でない作業には難しい作業です。また大量生産においては省人化と品質保証が必須です。従来のトルク値を直接用いた単純な自動判定法は通常ナット向けのため、セルフロックナットでは誤判定してしまうリスクが高く、ハンドナットランナに高精度な自動着座検知機能を載せる研究が求められていました。



図2：セルフロックナット

<研究の内容>

本研究では、トルクセンサ^{※9} 値から一次式で表される指標を自動生成し、それを統計的異常検知法「ホテリング理論」に当てはめて着座を判断する新手法を提案しました。指標はトルク値の線形式から構成され、その線形式の中で使用される 3 つの係数 a、b、c は進化計算の一種 CMA-ES で自動最適

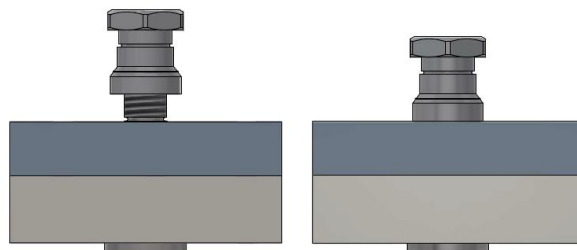


図3：(左) 着座前、(右) 着座後

化し、人手調整を不要にしました。364 本の締め付けデータで最適化された係数を評価用の 30 本で検証したところ、着座時刻の平均誤差を従来比約 4 分の 1 (約 2.3 秒→0.5 秒) へ削減し、締め付け不足が大幅に減少しました。簡便な計算式なのでハンドナットランナの小型制御基板でもリアルタイムに動作でき、航空機用特殊ナットに対して信頼性高く作業を自動化できる道が開けました。実機評価も進んでおり、100 回以上の締め付けテストで着座検知の確実性が確認された点は今後の実装展開を後押しします。

<期待される効果・今後の展開>

今回提案したシステムをハンドナットランナに組み込むことで、熟練度に左右されず短時間で正確な締め付けが可能となり、検査工数削減と安全性向上に寄与します。今後は過締めリスクをさらに抑えるアルゴリズムの改良、他種ナットへの応用、装置間ネットワーク化によるデータ蓄積などが検討されています。これにより製造ライン全体の自動化と品質トレーサビリティが進み、航空機のみならず自動車や重工業など幅広い産業での活用が期待されます。

<資金情報>

本研究は、戦略的基盤技術高度化支援事業（サポイン）の支援を受けて行われました。

<用語解説>

※1 セルフロックナット：

ゆるみにくいようネジ山の一部を変形させたナットで、振動や温度変化でも自然に回りにくい。航空機など高い安全性が要求される構造物で多用される。

※2 ハンドナットランナ：

人が手で保持しながら電動でナットを締め付ける工具で、締め付けトルクを自動制御・記録できる小型ランナである。大量組立現場で省人化と品質保証を両立させる目的で使われる。

※3 着座（ちゃくざ）：

ナット座面が部材に密着し、これ以上回しても軸方向の締め付け力しか増えない状態。適切な着座検知はボルト破損やゆるみの防止に重要。

※4 ホテリング理論：

多変量データの外れ値（異常）を統計的に検出する手法で、ホテリングの T^2 統計量を用いる。今回の研究では「異常＝着座到達」とみなして判定に用いる。

※5 進化計算：

生物の進化原理（選択・交叉・突然変異など）を模倣して最適解を探す計算手法の総称。複雑な問題でも探索を自律的に進めやすい。

※6 CMA-ES（進化的戦略）：

進化計算に基づく最適化手法で、平均と分散を持つ正規分布を進化させながら最良解を探索するアルゴリズム。実数パラメータ調整を自動化できることが利点。

※7 着座時刻：

ナットが着座した瞬間の時刻。この時刻より自動判定が早すぎても遅すぎてもナット締め付けが不十分になる。

※8 トルク：

回転させる力の大きさを示す物理量で、ナットを締めるときはボルト軸をねじる力として働く。

※9 トルクセンサ：

締め付け時に工具軸のねじれ量などを測定し、リアルタイムでトルク値を電気信号として出力する計測素子。過大締め付け防止や品質管理に不可欠。

<掲載誌情報>

【発表雑誌】 知能と情報

【論文名】 セルフロックナット締め付けにおける進化計算を用いた着座検知指標の生成

【著者】 中島 智晴、下田 萌喜、楠木 祥文、油谷 謙介、吉本 智

【掲載 URL】 https://doi.org/10.3156/jsoft.37.4_717

【研究内容に関する問い合わせ先】

大阪公立大学大学院情報学研究科

教授 中島 智晴（なかしま ともはる）

E-mail : tomoharu.nakashima@omu.ac.jp

【報道に関する問い合わせ先】

大阪公立大学 広報課

担当：橋本

TEL : 06-6967-1834

E-mail : koho-list@ml.omu.ac.jp