

平成25年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「締付法及び締付後確認法の革新による航空機組立の  
低コスト・高信頼化用の工具開発」

研究開発成果報告書

平成26年3月

委託者 近畿経済産業局

委託先 近畿産業技術クラスター協同組合

## 目次

第1章 研究開発の概要	4
1. 委託業務実施計画	4
[1] 締付確認方法に関する研究開発（近畿産業技術クラスター協同組合、株式会社 ユタニ）	5
[1-1] 微小トルクを正確に高精度に検知するセンサの開発	5
[1-2] 機械的にトルクを検知する機構を内蔵したエアツールの開発	5
[1-3] 独立した2系統で規定トルク・員数管理を保証するソフトウェアの開発	6
[2] 組立及び施工の作業効率性の向上に資する部材結合技術の研究開発（近畿産業技術クラスター協同組合、株式会社 ユタニ）	7
[2-1] 超軽量・小型で使いやすいエアツールの開発	7
[2-2] 樹脂系材料によるケーシングの開発	7
[3] プロジェクトの管理・運営（近畿産業技術クラスター協同組合）	8
2. 研究体制	8
3. 成果概要	12
4. 当該研究開発の連絡窓口	12
第2章 研究開発の報告	13
[1] 締付確認方法に関する研究開発	13
[1-1] 微小トルクを正確に高精度に検知するセンサの開発	13
[1-2] 機械的にトルクを検知する機構を内蔵したエアツールの開発	13
1. 微小トルクセンサに対して要求される性能仕様	13
2. 微小トルクセンサの設計仕様	13
3. 総合仕様	14
4. トルクセンサ評価	14
[1-3] 独立した2系統で規定トルク・員数管理を保証するソフトウェアの開発	15
1. コントローラ(EMC-10)	15
2. ソフトウェア	15
3. コントローラ性能評価	16
4. 耐ノイズ性評価	18
[2] 組立及び施工の作業効率性の向上に資する部材結合技術の研究開発	20
[2-1] 超軽量・小型で使いやすいエアツールの開発	20
1. 試作1号機設計仕様	20
2. 試作1号機能力試験	20
3. ギヤ加工方法の変更	21
4. 試作2号機	22
5. 総括	23
[2-2] 樹脂系材料におけるケーシングの開発	24
1. 熱収縮チューブ	24

第3章 全体総括.....	25
1. 総括.....	25
[1] 締付確認方法に関する研究開発.....	25
[1-1] 微小トルクを正確に高精度に検知するセンサの開発.....	25
[1-2] 機械的にトルクを検知する機構を内蔵したエアツールの開発.....	25
[1-3] 独立した2系統で規定トルク・員数管理を保証するソフトウェアの開発.....	25
[2] 組立及び施工の作業効率性の向上に資する部材結合技術の研究開発.....	25
[2-1] 超軽量・小型で使いやすいエアツールの開発.....	25
[2-2] 樹脂系材料におけるケーシングの開発.....	25
2. 今後の事業化展開.....	25
【参考文献】.....	26

## 第1章 研究開発の概要

### 1. 委託業務実施計画

#### (1) 実施計画の細目(手法・手段・研究場所等)

##### (i) 研究の目的

航空機産業における民間機の胴体、主翼等の組立においては、その数量が自動車程の大量でないことや狭隘部での作業が多いこと等により、手工具を使って1機当たり延べ数万本の組立用のリベット打ち、ねじ締めが行われている。

一方、航空機産業でも組立コストの国際競争が激しくなっており、組立工程において工数削減によるコストダウンが求められている。また、約50年間もの長い間、飛行することになるので飛行の安全という面から、締付の確実化及び締付後の確認に対する完璧な信頼性も求められている。

航空機の組立で現状使用している組立工具は、大きく、重いため使い難いうえに、単機能のため、締付、トルク確認、記録と工程を分けざるをえず、作業効率が低い原因となっている。作業者自身に依存する部分も多くヒューマンエラーの入り込む余地も残っている。

このような現状に対し、航空機産業の組立工程においては、今後の増産も踏まえて、①組立作業を高効率化して作業時間を短縮してコストダウンすること、②締付トルク保証・締め忘れ防止で製品の信頼性や品質保証を向上すること、③メンテナンスのための締付情報の記録・管理が行えること、④作業者への負荷を軽減すること、が強く望まれている。

航空機産業の組立工程の高効率化に向け、株式会社ユタニが持つ、①空気動力の制御技術、②締付力を測定するセンサの技術、③ツールとして一体化するシステム化技術、④締付工程を管理するソフトウェア技術、を基礎に、それらを発展させることによって達成可能となる。

なお、航空機産業の組立においてM5以下の微小トルクを正確に高精度に検知するセンサと別系統で機械的に規定トルクを検知する機構を内蔵した超軽量(現状の50%、600g)・小型でケーシングを樹脂系材料にしたエアツールと、独立した2系統で規定トルクと締め忘れ防止を保証するシステムを開発することにより、組立作業効率を現状の10倍にし、締付・締め忘れ防止をほぼ100%保証して品質保証や製品への信頼性をより確実なものにする。

##### (ii) 研究の概要

航空機産業の組立においてM5以下の微小トルクを正確に高精度に検知するセンサと別系統で機械的に規定トルクを保証する機構を内蔵した超軽量・小型のエアツールと、そのエアツールを制御して締付と員数情報を締付作業時に自動的に判定・記録するコントローラを研究開発することにより、組立の作業効率を10倍にし、航空機のねじ締めへの信頼性をほぼ100%にする。

### (iii) 実施内容

#### [1] 締付確認方法に関する研究開発

(近畿産業技術クラスター協同組合、株式会社 ユタニ)

##### [1-1] 微小トルクを正確に高精度に検知するセンサの開発

エアツールに内蔵した微小トルクを正確に高精度に検知するセンサを開発することにより、従来、作業者がトルクレンチにより下限トルクのみ保証していたねじ締めから、センサによる上下限トルク保証となる。

航空機産業において使われているM5以下のねじサイズのトルクを正確に高精度で検知するには、M6以上のサイズのトルクセンサの延長線上のトルクセンサでは難しい。

従来、M6以上の振り歪を検出するトルクセンサでは、歪量が比較的大きいので、特殊合金鋼をセンサ材として使用し高精度で耐久性の良い結果を得ることができた。しかしながら、M5以下の振り歪を検出するトルクセンサでは、従来のセンサ材では歪量が非常に小さいので誤差やノイズの影響が大きく高精度なセンサを得るのは難しい。

したがって、従来方式のセンサに新しい材質(例えばアルミニウム、樹脂など)を使用し、新しい方式のセンサを考案しなければならない。

具体的には、センサ材質と歪の計測方法の組み合わせによる、トルクの測定範囲及び精度を検証し、センサとしての完成を目指す。

開発するセンサは、下記の性能を有することを目標とする。

精度(正確さ): ±5%(トルクセンサ精度は±0.5%)

繰り返し精度: ±5%(トルクセンサ精度は±0.5%)

耐久性: 30万回以上

平成23年度は、2つのトルクセンサをどのセンサに決定するか、歪センサ、動トルクセンサ、磁歪センサ、半導体センサ、光センサなどの専門メーカーより技術的調査を行い、目標性能を達成するセンサの選定を行った。

平成24年度は、選定した歪センサを設計、製作し、その性能を評価した。目標に100%には達していないが、問題なく使用できる範囲であった。

平成25年度は歪センサを組込んだ試作機で締付試験を実施して性能を確認した。航空機組立工場でも使用してもらって、改良し商品化できる仕様に仕上げた。

##### [1-2] 機械的にトルクを検知する機構を内蔵したエアツールの開発

[1-1]で開発するセンサとは別系統のセンサを一つのエアツールに内蔵することにより、独立した2系統で上下限トルク保証することが可能となる。

現在、トルクレンチにエアモータを取付けた動力式ハンドツール(エアツールで仮締めし、トルクレンチで規定トルクまで増締めする方式)は市販されている。しかし、トルクセンサを有するエアツールにトルクレンチを内蔵したエアツールは世の中に存在しない。

自動車産業における組立工程では、トルクセンサ付の工具や機械で締め付けたトルクは始業前、終業後、及びその間の一定時間間隔毎にトルクレンチで一致しているかを確認することにより保証している。このため、問題が発生時には直前の確認時点まで遡って調査しなければならない。本来であれば、トルクセンサ付の工具や機械で締め付けた直後に別系統のトルクセンサにより確認すれば問題はないが、タ

クトが短いことや技術・コストの問題で実施されていない。

そのため、本研究開発では、容易に短時間に低コストで、独立した2系統でトルク保証できるエアツールを開発する。具体的には、従来の手動式トルクレンチにエアツールを組み込んだ外形を基本に開発を行う。締付操作の第一段階として、(第1の)トルクセンサで規定トルクを検知して給気を遮断して規定トルクを確保する(この技術は株式会社 ユタニが世界で初めて開発した空動のシステムレンチで実証済みである)。その後第二段階として、内蔵の機械的機構により手動でトルクレンチで増締めし、規定トルクを(第2の)センサで再度確認する仕組みである。

開発するセンサは、下記の性能を有することを目標とする。

精度(正確さ): ±5%(トルクセンサ精度は±0.5%)

繰り返し精度: ±5%(トルクセンサ精度は±0.5%)

耐久性: 30万回以上

平成23年度は、2つの歪センサを使った時の締め付け工具の構造検討、超軽量・小型にするための使用材料調査・工法検討・構造などの事前検討を行った。

平成24年度は、選定した歪センサを設計、製作し、その性能を評価した。目標に100%には達していないが、問題なく使用できる範囲であった。

平成25年度は歪センサを組み込んだ試作機で締付試験を実施して性能を確認した。航空機組立工場でも使用してもらって改良し、商品化できる仕様に仕上げた。

#### [1-3] 独立した2系統で規定トルク・員数管理を保証するソフトウェアの開発

独立した2系統のセンサからの信号により規定トルク・締め忘れ防止をダブル保証することにより、製品の信頼性と品質保証をほぼ100%にまで向上させることができる。

締付作業指示書に基づいて上下限トルク(トルク範囲)とコントロールトルク(狙いのトルク)を設定する。

まず、エアツールで締付をして第1系統のトルクセンサがコントロールトルクを検知してエアを遮断した時の実際の締付トルクがトルク範囲内であればOK、範囲外であればNGと判定する。OKの場合、引き続き、機械的機構で増締めし、第2系統のトルクセンサがコントロールトルクを検知したら作業者が増締めを止める。

その時のトルクがトルク範囲内であればOK、範囲外であればNGと判定する。

いずれのNGの場合も、機械的機構で緩めて最初からその締付を行う。一つの締付で2系統共にOKの時のみ締付完了としてカウントし、NGの場合はカウントしない事で締め忘れ防止を保証する。

トルクセンサと機械的機構からの信号を処理してトルクの判定、締付本数の判定、記録、パソコンへのデータ送信等の働きをするコントローラを開発する。

開発するソフトウェアが、トルクの判定、締付本数の判定を99.7%以上正確にすることを目標とする。

以上のように平成23年度は、[1-1]で開発する第1系統の規定トルクを正確に評価し、第2系統のトルクセンサがコントロールトルクを検知し増締めを止める制御ソフトウェアを事前検討した。微小歪の計測のため、ノイズの影響が大で、このノイズの発生原因と対策について研究、調査した。

平成24年度は、独立した2系統のセンサで特許を出願した。コントローラのアナログ基板はISO5393の要求事項を満足した。独立した2系統で規定トルク・員数管理を保証するソフトウェアのタイミングチャートとフローチャートを作成した。

平成25年度は 独立した2系統で規定トルク・員数管理を保証するソフトウェアを開発する。開発した

ソフトウェアを組み込んだコントローラで締付試験を実施して性能・信頼性を確認した。航空機組立工場でも使用してもらって改良し、商品化できる仕様に仕上げた。

## [2] 組立及び施工の作業効率性の向上に資する部材結合技術の研究開発

(近畿産業技術クラスター協同組合、株式会社 ユタニ)

### [2-1] 超軽量・小型で使いやすいエアツールの開発

構成部品の、材質を見直し、肉厚を極限近く薄くし、寸法も極限近くまで小さくすることにより超軽量小型のエアツールを開発する。

航空機産業における組立工程で、狭小部でのねじ締め作業で作業者の負担を軽減するため、重量を従来の50%(600g)を目標とする。

平成23年度は、超軽量・小型で使いやすいエアツールを開発する為の基本構想を複数の手段で事前検討した。その為、樹脂系材料専門メーカーよりアドバイスを受け、その可能性を、又、金属との2色成型の可能性も確認した。

平成24年度は、目標とする重量(600g)の試作機を完成した。

平成25年度は試作機で締付試験を実施して性能を確認した。航空機組立工場でも使用してもらって改良し、商品化できる仕様に仕上げた。

### [2-2] 樹脂系材料によるケーシングの開発

航空機産業における組立工程で、狭小部でのねじ締め作業で作業者の負担を軽減するため、ケーシングに樹脂系材料を使用して作業者が扱いやすい形状にすると共に作業中にエアツールを落しても部材を損傷させないようにし、ツール落下による部材の損傷をほぼゼロにする。

従来のエアツールのケーシングは主としてアルミニウムを使用している。本計画においては、作業者の負担を軽減するため、また、エアツールによる航空機の構成部材の損傷をほぼゼロにするため、樹脂系材料をケーシングに使用する。試作段階では、機械加工による削り出しとし、量産では型による生産とする。

平成23年度は、[2-1]で事前検討した樹脂系材料専門メーカーを呼んでその可能性を確認した。

平成24年度は、セルフロックナット締付に適した仕様として締付角度を検出できる角度センサをエアツール本体に内蔵した。ケーシングには機械的性質が優れているユニレート(ポリエチレン系樹脂)を選定した。金属と樹脂の結合はNMT処理と接着剤で進めることにした。

平成25年度は、選定した樹脂材料でさらに超軽量化を図り、締付試験を実施して性能を確認した。航空機組立工場でも使用してもらって改良し、商品化できる仕様に仕上げた。

[3] プロジェクトの管理・運営(近畿産業技術クラスター協同組合)

研究開発推進委員会の開催等により、株式会社ユタニとアドバイザー、事業管理機関の研究者との間で意思疎通をはかり、適切な研究開発の支援を行うとともに、事業全体の進捗状況を確認し、適切にプロジェクトの管理・運営を行う。

(1) 所在地

①事業管理機関

近畿産業技術クラスター協同組合 (最寄り駅: JR 京都線吹田駅)

〒564-0027 大阪府吹田市朝日町15番地24号303号室

②研究実施場所(主たる研究実施場所については、下線表記のこと。)

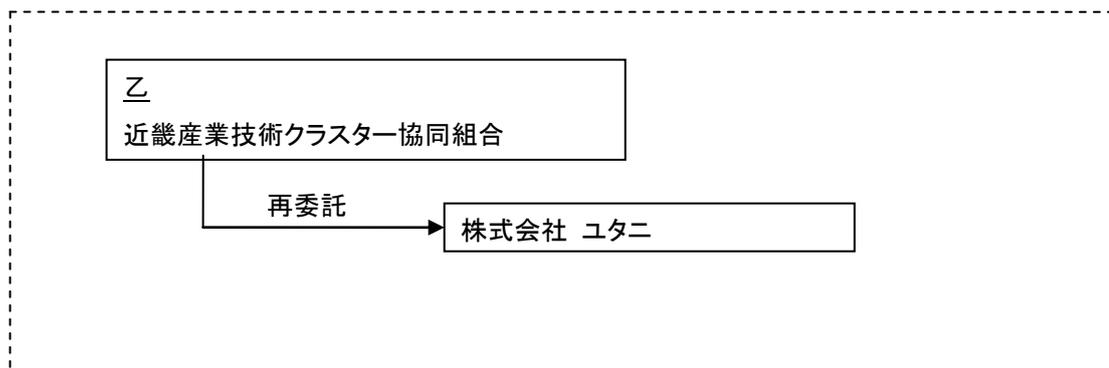
株式会社 ユタニ (最寄り駅: 近鉄 郡山駅)

〒630-8453 奈良県奈良市西九条町5丁目4番8号

2. 研究体制

(1) 研究組織及び管理体制

(i) 研究組織(全体)

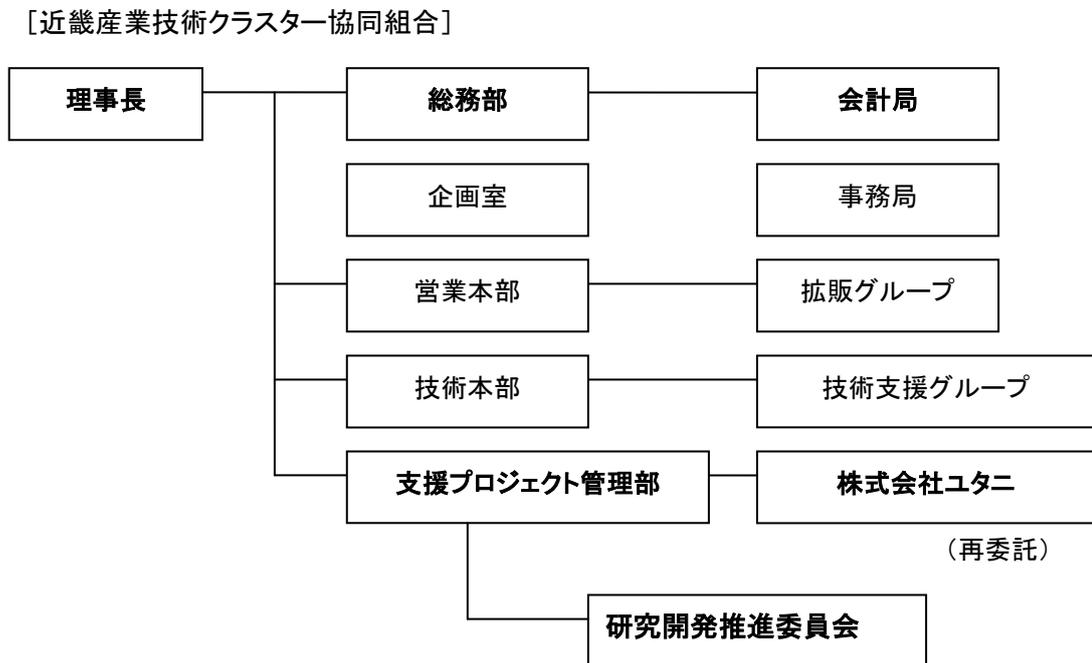


総括研究代表者(PL)  
株式会社 ユタニ  
開発設計課 課長 本合 一男

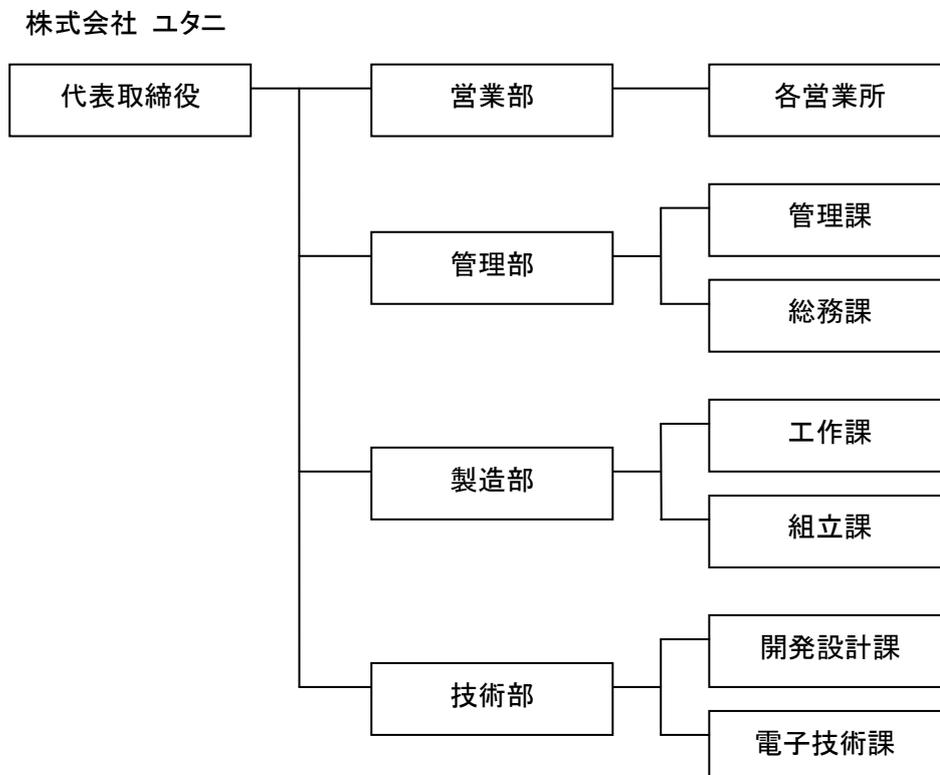
副総括研究代表者(SL)  
近畿産業技術クラスター協同組合  
支援プロジェクト管理部  
専務理事 粟野 順二郎

(ii) 管理体制

① 事業管理機関



② (再委託先)



## (2) 管理員及び研究員

【事業管理機関】近畿産業技術クラスター協同組合

## ①管理員

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
富永安治	理事長	[3]
佐藤伸吾	常務理事	[3]
直塚 徹	技術本部(技術支援グループ)担当	[3]
大久保雅巳	会計局長	[3]

## ②研究員

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
栗野順二郎	専務理事	[1-1][1-2][2-1][2-2]
平井佳紀	常務理事	[1-1][1-2][2-1][2-2]
近藤 穆	理事	[2-1]
松下賢二	技術本部(技術支援グループ)担当	[1-2]
中西政貴	技術本部(技術支援グループ)担当	[1-1]
土田良一	技術本部(技術支援グループ)担当	[1-1]

【再委託先】※研究員のみ

株式会社 ユタニ

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
油谷敏美	取締役社長	[1-1] [1-2] [1-3] [2-1] [2-2]
油谷光廣	取締役営業部長	[1-1] [1-2] [1-3] [2-1] [2-2]
池田和明	取締役製造部長	[1-1] [1-2] [2-1] [2-2]
小田文利	技術部顧問	[1-1] [1-2] [1-3] [2-1] [2-2]
本合一男	技術部開発設計課課長	[1-1] [1-2] [1-3] [2-1] [2-2]
鹿田賢治	技術部開発設計課主任	[1-1][1-2][1-3]
菊川康夫	技術部開発設計課研究員	[1-1] [1-2] [2-1] [2-2]
菅田健三	技術部開発設計課研究員	[1-1] [1-2] [2-1] [2-2]
白岩義夫	技術部開発設計課研究員	[1-1] [1-2] [1-3]
西浦克己	技術部開発設計課研究員	[1-1] [1-2] [1-3]
立岩重幸	技術部開発設計課研究員	[1-1] [1-2] [1-3]
堀寛和	技術部開発設計課研究員	[1-1] [1-2] [1-3] [2-1]
吉本智	技術部開発設計課研究員	[1-1] [1-2] [1-3] [2-1]

原田友喜人	技術部電子技術課課長	[1-1] [1-2] [1-3]
大岡英久	技術部電子技術課主任	[1-1] [1-2] [1-3]
久保田泰明	技術部電子技術課主任	[1-1] [1-2] [1-3]

(3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

(事業管理機関)

近畿産業技術クラスター協同組合

(経理担当者) 会計局長

大久保雅巳

(業務管理者) 理事長

富永安治

(再委託先)

株式会社ユタニ

(経理担当者) 管理部 総務課 係長

今西保夫

(業務管理者) 技術部 開発設計課 課長

本合一男

(4) 知的財産権の帰属

知的財産権は全て当方に帰属することを希望

(5) その他

アドバイザーは下記の通り。

東洋航空電子株式会社

常務取締役 野田新見

主管研究員 渡邊亮三

奈良県工業技術センター

機械・電子・情報技術チーム

統括研究員 澤島秀成

龍谷大学

RECフェロー 堀川 武

京都高度技術研究所

マネージャ 高木 誠

### 3. 成果概要

主項目	副項目	分類	内容	状態	
[1] 締付確認方法 に関する研究開 発	[1-1] 微小トルクを正確に高精度に検知する 開発されたセンサを組み込んだ試作品 の試験・完成をさせる	選定	材質選定 方式選定 検定	完了	
		精度検証	精度 繰返し精度 耐久試験	完了	
	[1-2] 機械的にトルクを検知する機構を内蔵し たエアツールの試作品を完成させる	選定	材質選定 方式選定 検定	完了	
		精度検証	精度 繰返し精度 耐久試験	完了	
	[1-3] 独立した 2 系統で規定トルク・員数管理 を保証する開発されたソフトウェアを組み 込んだコントローラを完成させる	ハードウェア		完了	
		ソフトウェア		完了	
		総合	評価試験 ノイズ試験(第 2 試作)	完了	
	[2] 組立および施工 の作業効率性 の向上に資する 部品結合技術 の開発研究	[2-1] 超軽量・小型で使いやすいエアツールの 試作品を完成させる	小型化・軽量化	材質見直し 肉厚の再設計 600g 以下	完了
		[2-2] 樹脂系材料によるケーシングを組み込 んだ試作品を完成させる	形状		完了

### 4. 当該研究開発の連絡窓口

#### (1) 事業管理機関

- ① 所属 : 近畿産業クラスター協同組合
- ② 氏名 : 富永安治
- ③ 電話 : 06-7175-4980
- ④ FAX : 06-6317-0579
- ⑤ E-mail : info@kstc.jp

#### (2) 総括研究代表者

- ① 所属 : 株式会社ユタニ
- ② 氏名 : 本合一男
- ③ 電話 : 0742-61-1815
- ④ FAX : 0742-61-9257
- ⑤ E-mail : khongo@yutani.co.jp

## 第2章 研究開発の報告

### [1] 締付確認方法に関する研究開発

#### [1-1] 微小トルクを正確に高精度に検知するセンサの開発

エアツールに内蔵した微小トルクを正確に高精度に検知するセンサを開発することにより、従来、作業者がトルクレンチにより下限トルクのみ保証していたねじ締から、センサによる上下限トルク保証となる。

#### [1-2] 機械的にトルクを検知する機構を内蔵したエアツールの開発

[1-1]で開発するセンサとは別系統のセンサを一つのエアツールに内蔵することにより、独立した2系統で上下限トルク保証することが可能となる。

### 1. 微小トルクセンサに対して要求される性能仕様

#### (1) 締付対象ボルトの決定

航空機産業における組立工程で実際に使用されているネジサイズと要求締付トルクを調査した結果、下記の通りであった。

- M4(5/32 インチ) 1.69~3.95N・m(15~35lbin)
- M5(3/16 インチ) 2.82~4.52N・m(25~40lbin)
- M6(1/4 インチ) 6.78~10.7N・m(60~95lbin)
- M8(5/16 インチ) 12.4~22.6N・m(110~200lbin)

航空機産業で使用されている多種多様なネジサイズのうち、今回の研究開発の目的に合致し、かつ、大量に使用されている M5(3/16 インチ)の六角ボルト、ナットの要求締付トルクを検知する微小トルクセンサを開発することとし、M5 ボルト締付のために必要な理論値を元にその仕様(設計値)を決定した。

#### (2) 要求される締付トルクの理論値

以下の条件の場合、ボルト、ナットの強度区分 3.6~8.8 とすると適正締付トルクは 1.7~6.2N・m となる。

- ボルト、ナット M5 並目ねじ
- 有効径 4.48mm
- ピッチ 0.80mm
- 対辺 8mm
- ワッシャ内径 5.5mm

### 2. 微小トルクセンサの設計仕様

歪ゲージ、半導体歪ゲージ、磁歪式センサ、光センシングの4つのセンサ方式を比較分析し、歪ゲージを採用することを決定した。また、センサ母材についても比較を行いニッケルクロムモリブデン鋼、超タジユラルミン、チタン 6Al-4V 合金、ポリイミド樹脂、サーモライトの5つの候補からニッケルクロムモリブデン鋼(SNCM439)を採用することを決定した。

### 3. 総合仕様

#### (1) 第1トルクセンサ・第2トルクセンサ共通の仕様

要求される締付トルクの理論値と上記調査結果に基づき、締付ツールの適用締付トルクを 1.5～7.5N・m とすると、歪ゲージ方式の場合は経験的に下記の仕様となる。

- 定格トルク 8.0N・m
- 定格出力 1mV/V
- 非直線性 0.3%R.O.
- ヒステリシス 0.3%R.O.
- 繰返し精度 ±0.5%
- 補償温度範囲 -10～50℃(実質 0～45℃)結露なき事
- 許容温度範囲 -20～60℃結露なき事
- 推奨印可電圧 D.C. 10V
- センサ材質は、SNCM439

### 4. トルクセンサ評価

#### (1) 精度

採用するトルクセンサについて、定格トルク 8.0N・m に対する定格出力、非直線性、ヒステリシス、ゼロ点変動、精度の 5 項目を評価することにより、性能の合否判定を行った。目標値にわずかに及ばない項目があったが、問題なく使用できる。

#### (2) 耐久試験

規定回数到達時毎にトルクセンサ検定を行い、定格出力の算出を行った。最低目標回数の 30 万回まで試験を行ったが、トルクセンサの性能は落ちていなかった。

#### (3) 繰返し精度

耐久試験開始前と 15 万回後、30 万回後において、トルクセンサの検定を 10 回行い、検定結果の定格出力、非直線性、ヒステリシス、総合精度の繰返し精度を算出した。

繰返し精度は、それぞれの項目において、目標とする±0.5%を達成した。

#### (4) 総合判定

第1トルクセンサ、及び第2トルクセンサは、開発目標とする精度(正確さ) : ±0.5%、繰返し精度 : ±0.5%、耐久性 : 30 万回以上を達成した。よって、センサ性能は 30 万回使用しても落ちないため、問題なく使用できる。

[1-3] 独立した 2 系統で規定トルク・員数管理を保証するソフトウェアの開発

独立した 2 系統のセンサからの信号により規定トルク・締忘れ防止をダブル保証することにより、製品の信頼性と品質保証をほぼ 100%にまで向上させることができた。

1. コントローラ(EMC-10)

(1) 外観寸法

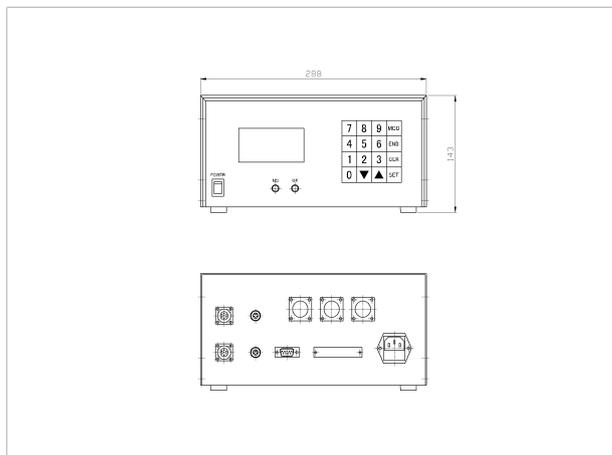


図 1 コントローラ(EMC-10)外観 (W200×H143×D282)

2. ソフトウェア

(1) 制御フロー

- エアツール起動 SW ON で制御ソフトウェアは自己診断を行う。自己診断OKで、締付を開始する。
- 第 1 トルクセンサ締付の目標トルク(動トルク)に達したらエアツールを止め、設定した上下限トルク値で締付結果を判定し、設定トルク範囲内ならば第 2 トルクセンサでの増締めへ進む。
- トルクゼロ検知後、OK LED が点滅状態になり、第 2 トルクセンサでの増締めが出来る。
- 目標トルク(静トルク)に達したら、増締め終了を知らせる OK、NG LED を点滅させる。
- 締付結果判定後、判定結果に応じた OK、NG LED を点灯させ終了する。

(2) 自己診断機能

自己診断機能とは、エアツールの起動 SW の ON 後、第 1・第 2 トルクセンサの断線と USB メモリの残量を確認し、問題の有無を診断する機能である。

表 1 自己診断機能

診断対象	名称	内容
第 1 トルクセンサ	断線チェック	第 1 トルクセンサが断線しているかを電氣的に確認する
第 2 トルクセンサ	断線チェック	第 2 トルクセンサが断線しているかを電氣的に確認する
USB メモリ	メモリ容量チェック	締付終了時にデータ保存する USB メモリ残容量を確認する

### (3) 員数管理

ソフトウェアによる員数管理は、フリー方式、及びカウンタ方式を実装した。

フリー方式とは、締付本数の設定をしない方式で、締付が正常に終了した場合にのみカウンタを 1 加算する方式である。

カウンタ方式とは、工程と締付本数を設定し、選択工程で設定した締付本数を満たせば、次工程を選択するまで締付出来ない員数管理の方式である。

### (4) データ送信

締付の成否にかかわらず締付終了時に、制御設定値と締付トルクのサンプリングデータが USB メモリ上に 1 つの XML ファイルとして保存される。

コントローラ(EMC-10)は、CPU 基板に LAN ポートを持ち、イーサネット接続が可能である。これを利用し、より自動化された締付データの分析が可能である。実際にコントローラ(EMC-10)に接続されたパソコンに転送を行い動作させた。

## 3. コントローラ性能評価

### (1) コントローラ(EMC-10)制御ソフトウェアの締付制御精度

試作エアツールとコントローラ(EMC-10)を使用して締付を行った場合の第 1 トルクセンサ(動トルク)締付トルク精度が $\pm 5\%$ 以下であることを目標にする。

### (2) 締付トルク精度評価

#### (i) 第 1 トルクセンサ(動トルク)締付トルク精度

##### ① 目的

制御ソフトウェアバージョン 2 のコントローラ(EMC-10)を使用し、試作 1 号機と試作 2 号機の第 1 トルクセンサ(動トルク)締付トルク精度を検証する。

##### ② 試験方法

図 2 の構成で試験を行う。

表 2 は第 1 トルクセンサ(動トルク)締付トルク精度試験機器である。

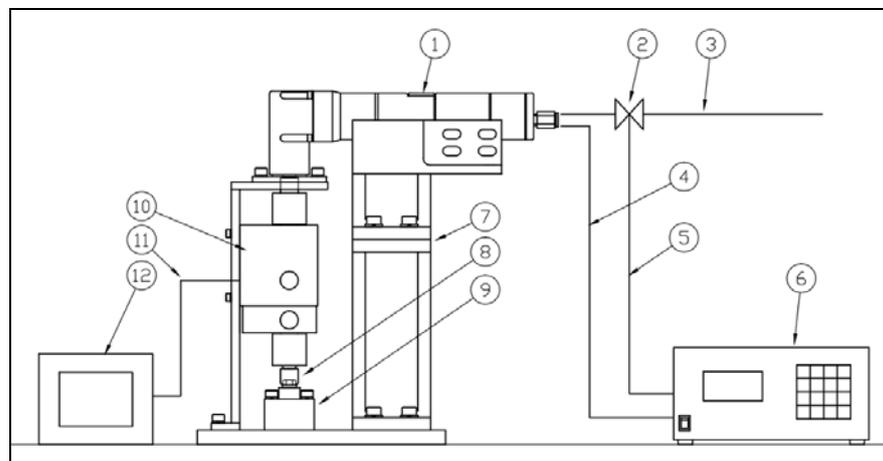


図 2 第 1 トルクセンサ(動トルク)締付トルク精度試験

表 2 第 1トルクセンサ(動トルク)締付トルク精度試験機器

No.	名称	メーカー	型式
1	試作機	(株)ユタニ	YAP-6C
2	電磁弁	SMC	YP344-5T1-02A
3	エアホース		
4	制御用ケーブル		
5	電磁弁ケーブル		
6	コントローラ	(株)ユタニ	EMC-10
7	締付精度試験機器	(株)ユタニ	
8	ソケット		
9	ワーク	(株)ユタニ	
10	トルクメータ	ユニパルス	UTM II-10Nm
11	ケーブル	ユニパルス	
12	トルク表示器	ユニパルス	F388A

表 3 第 1トルクセンサ(動トルク)締付トルク精度試験条件

項目	数値・説明
目標トルク(本締)	5.0 N・m
気圧	0.5MPa(試作 1 号機)、0.2MPa(試作 2 号機)
エアホース長(電磁弁-試作機)	0.4 m
対象ボルト	M5 ボルト
電磁弁:型式	SMC:YP344-5T1-02A

### ③ 結果データ

表 4 第 1トルクセンサ(動トルク)締付トルク精度試験結果

試験に使用したエアツール	コントローラ(EMC-10)	トルクメータ
試作 1 号機	8.00 %	4.55 %
試作 2 号機	1.66 %	4.66 %

### ④ 結論

試作 1 号機は、コントローラの第 1トルクセンサ(動トルク)締付トルク精度 8%、トルクメータでは 4.55%であったが、試作 2 号機は、最大出力が向上し、低空気圧力で使用でき回転速度を下げる事が可能になったため、第 1トルクセンサ(動トルク)締付トルク精度が大幅に向上した。試験の結果、コントローラ(EMC-10)に表示された締付トルク値、トルクメータに表示された締付トルク値ともに、目標である第 1トルクセンサ(動トルク)締付トルク精度 5%をクリアした。

#### 4. 耐ノイズ性評価

一般的に、要求される耐ノイズ性は製品の種類によって異なる。例えば、「電氣的にノイズの発生を確認できるが誤動作は起きない」、「現象が許容されている」など要求のレベルが様々である。

したがって、ノイズ試験を行う前に、まず製作するコントローラ(EMC-10)の耐ノイズ性の目標を決める。

表 5 IEC61000-4-4 のノイズ試験レベル概要

レベル	想定している環境
1	一般環境
2	典型的な工業環境から不完全に隔てられた一般環境
3	典型的な工業環境
4	特別な設置基準のない、厳しい工業環境

製作するコントローラ(EMC-10)は、それが設置される環境から影響を受けて誤動作が発生する可能性がある。特に工場など、電子機器が密集することが稀でない環境においては、ある一定の指標となる耐ノイズ性を考慮に入れる必要がある。

製作するコントローラ(EMC-10)は典型的な工業環境で使用されることから、IEC61000-4-4のノイズ試験レベル3をクリアすることを目標とした。ここでIEC61000-4-4とは『繰返しの早い電氣的高速過渡現象(EFT/B)による妨害に電源、信号または制御ポートが曝されたとき、電子機器の性能評価の共通標準を目的として規定される』耐ノイズ評価の規格であり、そのノイズ試験レベル3は下の表で示される内容である。

表 6 ノイズ試験レベル

開回路出力試験電圧±10%、及びインパルスの繰返し率(±20%)				
レベル	電源ポート、保安地に対して		出入力信号、データ、制御ポートに対して	
	電圧ピーク (kV)	繰返し率 (kHz)	電圧ピーク (kV)	繰返し率 (kHz)
1	0.5	5	0.25	5
2	1	5	0.5	5
3	2	5	1	5
4	4	5	2	5

##### (1) 目的

コントローラ(EMC-10)がIEC61000-4-4で規定するノイズ試験レベル3をクリアするか検証する。

##### (2) 方法

試作機の第1トルクセンサ(動トルク)締付トルク精度検証を行う基本的な構成に、ノイズ発生器を追加したものである

### (3) 試験条件

IEC61000-4-4 試験の AC 電源ケーブル周辺試験の環境設定条件は、ノイズ発生器とコントローラ (EMC-10) インレット間のケーブルをベースグラウンド上方 10cm 以上に保つ事である。

IEC61000-4-4 試験の I/O ケーブル周辺のノイズ試験の環境設定条件は、ノイズ発生器とカップリングクランプのケーブルをベースグラウンド上方 10cm 以上に保ち、50cm 以上離れている事である。

また、カップリングクランプ出口とレンチ間のケーブルも同様にベースグラウンド上方 10cm 以上に保ち 50cm 以上離れている事である。

### (4) 結果データ

試験の結果 AC 電源に対するノイズ試験、及び I/O ケーブル周辺に対するノイズ試験の両方で締付制御が誤動作を起こさず動作することを確認した。表 7 にその結果を示す。

表 7 各現象の発生率

種類	レベル	正常動作	異常動作		
			コントローラ (EMC-10)値 オーバ 実締付トルク正常	コントローラ (EMC-10)値 オーバ 実締付トルク低	動作しない
AC 電源	2	100 %	0 %	0 %	0 %
ケーブル周辺	3	100 %	0 %	0 %	0 %
I/O	2	100 %	0 %	0 %	0 %
ケーブル周辺	3	100 %	0 %	0 %	0 %

### (5) 結果

ノイズ対策を施したコントローラ(EMC-10)は、ノイズ試験レベル 3 をクリアした。

[2] 組立及び施工の作業効率性の向上に資する部材結合技術の研究開発

[2-1] 超軽量・小型で使いやすいエアツールの開発

航空機産業における組立工程で、狭小部でのねじ締作業者の負担を軽減するため、重量を従来の50%(600g)を目標とする。また、航空機産業で使用されている多種多様なネジサイズのうち、大量に使用されている M5(3/16 インチ)の六角ボルト、ナットの締付トルクを有するツールの開発を行う。

1. 試作 1 号機設計仕様

表 8 試作 1 号機設計仕様

空気圧力 (MPa)	0.49
無負荷回転速度 (min <sup>-1</sup> )	148.9
ストールトルク (N・m)	10.2
減速比	127.58
重量 (g)	576

2. 試作 1 号機能力試験

(1) エアモータ試験

(i) 目的

試作 1 号機が設計仕様を満たしているか、エアモータの能力を確認する。

(ii) 試験方法

エアモータ部をトルクメータに取付け、エアモータを回転させる。

DC 電源でヒステリシスブレーキのブレーキ力を変化させ、エアモータの駆動軸にブレーキを掛け、トルクメータで測定を行う。トルクメータ表示器にて測定結果を表示させる。メモリハイコーダにて締付トルク、回転速度波形を読取る。

(iii) 試験結果

表 9 エアモータ試験結果

空気圧力 (MPa)	無負荷回転速度 (min <sup>-1</sup> )	最大出力時 回転速度 (min <sup>-1</sup> )	最大出力時 締付トルク (N・m)	最大出力 (kW)	ストールトルク (N・m)	
0.29	4400	2200	0.026	0.006	0.035	
0.39	7400	3700	0.033	0.013	0.053	
0.49	実測値	8600	4300	0.045	0.020	0.065
	設計値	19000	9500	0.040	0.040	0.080

(iv) 考察

無負荷回転速度、ストールトルク共に設計値に達していない。排気口が小さく排気量が不十分と考えら

れる。排気口を大きくすればよいが小型化を図っている為、構造上難しい。

減速比 127.58、ストールトルク  $0.065\text{N}\cdot\text{m}$ (0.49MPa 時)、ギヤ効率 80%とすると、

$$127.58 \times 0.065 \times 0.8 = 6.63\text{N}\cdot\text{m}$$

$$127.58 \times 0.080 \times 0.8 = 8.17\text{N}\cdot\text{m} \text{ (設計値)}$$

であり、第 1 トルクセンサの定格トルクが  $8.0\text{N}\cdot\text{m}$  である為、少なくとも  $8.0\text{N}\cdot\text{m}$  ぐらいの能力は欲しい。

## (2) 本体の無負荷回転速度、及びストールトルク試験

### (i) 目的

試作 1 号機が設計仕様を満たしているか、本体の無負荷回転速度、及びストールトルクの確認をする。

### (ii) 試験方法

小野測器製(HT-5500)回転計を用いて無負荷回転速度の測定を行う。

試作 1 号機を固定治具に取付け、東日製(ST12N)スピントルクを用いてストールトルクの測定を行う。

### (iii) 試験結果

表 10 無負荷回転速度、及びストールトルク試験結果

空気圧力 (MPa)	無負荷回転速度 ( $\text{min}^{-1}$ )	ストールトルク ( $\text{N}\cdot\text{m}$ )
0.29	56	2.3
0.39	65	3.4
0.49	測定値	72
	設計値	148.9
		4.3
		10.2

### (iv) 考察

試験結果より、試作 1 号機の能力が設計値に達していない事がわかった。

試験結果よりギヤ効率を逆算すると、

$$4.3\text{N}\cdot\text{m} = 127.58 \times 0.065 \times \text{ギヤ効率}$$

で、ギヤ効率は 51.8%となり、設計仕様 80%を大きく下回っている。ギヤ効率を良くするためにはギヤの加工精度を上げる必要がある。

## 3. ギヤ加工方法の変更

### (1) 加工方法

ギヤ効率を改善する為、ピニオンカット加工から加工精度に優れているワイヤカット加工に変更する。

### (2) ギヤ比較試験

#### (i) 試験方法

前述の試作 1 号機の無負荷回転速度、及びストールトルク試験と同様の試験方法でワイヤカット加工

によるギヤを組込んだ試作 1 号機で試験を行う。

(ii) 試験結果

表 11 試験結果

	空気圧力 (MPa)	無負荷回転速度 (min <sup>-1</sup> )	ストールトルク (N・m)
試作 1 号機 設計値	0.49	148.9	10.2
試作 1 号機 ピニオンカット加工		72.0	4.3
試作 1 号機 ワイヤカット加工		129.0	6.4

(iii) 考察

ワイヤカット加工のピニオンを用いることにより

$$6.4\text{N}\cdot\text{m}=127.58\times 0.065\text{N}\cdot\text{m}\times\text{ギヤ効率}$$

から、ギヤ効率は 77.2%となり、設計仕様のギヤ効率 80%に近づいた。しかし、ストールトルクは設計値 10.2N・m に対して、6.4N・m と不十分であり設計変更をする必要がある。

4. 試作 2 号機

(1) 試作 2 号機設計仕様

表 12 試作 1 号機設計仕様と試作 2 号機設計仕様の比較

	試作 1 号機	試作 2 号機
空気圧力 (MPa)	0.49	
無負荷回転速度 (min <sup>-1</sup> )	148.9	34.8
ストールトルク (N・m)	10.2	32.1
減速比	127.58	574.09
重量 (g)	576	595



図 3 試作 2 号機

(2) 設計変更理由とその内容

- (i) スストールトルク向上の為、減速部の設計変更
- (ii) 減速部の変更によりストールトルクが過剰となる為、エアモータの設計変更
- (iii) センサケーブル通路確保の為、ケーシングの設計変更
- (iv) センサケーブルハンダ付けスペース確保の為、グリッパ部の設計変更
- (v) グリッパ部設計変更により、グリッパカバの設計変更

### (3) 本体の無負荷回転速度、及びストールトルク試験

#### (i) 目的

試作 2 号機が設計仕様を満たしているか、本体の無負荷回転速度、及びストールトルクの確認をする。

#### (ii) 試験方法

試作 2 号機本体の無負荷回転速度、及びストールトルク試験と同様の試験を行う。

#### (iii) 試験結果

表 13 試作 2 号機本体の無負荷回転速度、及びストールトルク試験結果

空気圧力 (MPa)	無負荷回転速度 (min <sup>-1</sup> )	ストールトルク (N・m)
0.19	21.2	8.0
0.29	25.4	—
0.39	29.0	—
0.49	測定値	31.5
	設計値	34.8
		32.1

※ スピントルクの測定上限が 12N・m なので 0.29MPa 以上のストールトルク試験は行っていない。

#### (iv) 考察

空気圧力 0.19MPa でストールトルクが 8.0N・m となり、空気圧力 0.19MPa で使用できることが分かった。

試作 2 号機は低空気圧力で使用できることにより、工場の空気圧力変動の影響を小さくできると共に、低速回転での締付で慣性の影響が小さくできるので、第 1 トルクセンサ(動トルク)締付トルク精度が向上するエアツールとなった。

## 5. 総括

- (1) 試作 2 号機は低空気圧力で使用できることにより、工場の圧力変動の影響を小さくできると共に低速回転での締付で慣性の影響が小さくできるので、第 1 トルクセンサ(動トルク)締付トルク精度が向上するエアツールとなった。
- (2) 試作 1 号機ではセンサケーブルをツール内に通す事が不可能であったが、試作 2 号機ではセンサケーブルをツール内に通す事が可能となった。
- (3) 試作 2 号機の総重量は 595g で、目標 600g 以下を達成した。

## [2-2] 樹脂系材料におけるケーシングの開発

作業者の負担を軽減するため、エアツール表面を樹脂系材料で握りやすい形状にすると共にエアツール落下時に航空機部材を傷つけないようにする。

### 1. 熱収縮チューブ

#### (1) 熱収縮チューブの概要

- 西日本電線製 NPR40-20-2 熱収縮チューブ
- 内径φ40、収縮時内径φ20、厚さ2mm、吸水率0.9%
- 120℃で収縮(その温度では、エアツールに影響はない)



図 4 熱収縮チューブを巻きつけた試作機

#### (2) 評価

熱収縮チューブを使用することで損傷防止にはアルミが剥き出しの状態よりも与える衝撃を低減でき、比較的良好である。この場合、エアツール全体を被覆することは出来ない。エアツール全体を被覆するには別の手法を併用する必要がある。

被覆によりグリップ力が向上することから作業者の負担軽減にも繋がる。

### 2. 結論

今回の試作 2 号機では熱収縮チューブを採用する。

商品化では、エアツール全体をゴム弾性体で被覆する射出成型法を検討する。

## 第3章 全体総括

### 1. 総括

#### [1] 締付確認方法に関する研究開発

##### [1-1] 微小トルクを正確に高精度に検知するセンサの開発

- ① 精度(正確さ)は、目標値 $\pm 0.5\%$ に対して $0.48\%$ であり目標を達成した。
- ② 繰返し精度は、目標値 $\pm 0.5\%$ に対して $0.34\%$ であり目標を達成した。
- ③ 耐久性は、目標である30万回以上を達成した。

##### [1-2] 機械的にトルクを検知する機構を内蔵したエアツールの開発

- ① 精度(正確さ)は、目標値 $\pm 0.5\%$ に対して $0.37\%$ であり目標を達成した。
- ② 繰返し精度は、目標値 $\pm 0.5\%$ に対して $0.38\%$ であり目標を達成した。
- ③ 耐久性は、目標である30万回以上を達成した。

##### [1-3] 独立した2系統で規定トルク・員数管理を保証するソフトウェアの開発

- ① 締付トルク精度 $5\%$ 以下の制御ソフトウェアバージョン2が完成した。
- ② 第1系統のエア締付制御においては完成した。第2系統の増締め制御は完成したが、第2トルクセンサの位置と握って力を加える位置(力点)の影響があることが分かった。
- ③ フリー方式、及びカウンタ方式の員数管理ソフトウェアをコントローラ(EMC-10)に実装した。
- ④ ノイズ対策を施したコントローラ(EMC-10)は、IEC61000-4-4ノイズ試験レベル3をクリアした。

#### [2] 組立及び施工の作業効率性の向上に資する部材結合技術の研究開発

##### [2-1] 超軽量・小型で使いやすいエアツールの開発

- ① 試作2号機は $595\text{g}$ であり、目標とする重量( $600\text{g}$ 以下)を達成した。
- ② 試作2号機は低空気圧で使用できることにより、工場の空気圧力変動の影響を小さくできると共に、低速回転での締付で慣性の影響を小さくできるので、第1トルクセンサ(動トルク)締付トルク精度が向上するエアツールとなった。

##### [2-2] 樹脂系材料におけるケーシングの開発

- ① 試作2号機では熱収縮チューブを採用した。

### 2. 今後の事業化展開

本研究開発の成果の一つであるねじの締付トルクを正確に高精度に検知するトルクセンサの技術をさらに追求していくことにより、今後小型化していくあらゆる機械の重要締付のトルクセンサとして大きな需要が見込まれる。

以上、成果報告させていただきましたが、この3ケ年にわたり、ご支援、ご指導、ご協力いただきました各位様に、厚く御礼申し上げます、成果報告書の締めにあいたします。誠にありがとうございました。

## 【参考文献】

1. OMRON Corporation  
[http://www.omron.co.jp/ecd/products/photo/34/ee\\_sx1105.html](http://www.omron.co.jp/ecd/products/photo/34/ee_sx1105.html)  
アクセス日:2013/3/20
2. 国際規格 ISO 5393
3. 東洋測器(株) センサ検定器写真提供
4. 大成プラス(株) カタログ
5. 西日本電線製 NPR40-20-2(エチレンプロピレングム)熱収縮チューブ  
[https://www.nnd.co.jp/products/materials/elastic\\_tube/2034480\\_7770.html](https://www.nnd.co.jp/products/materials/elastic_tube/2034480_7770.html)  
アクセス日:2014/3/20
6. 菊水電子工業株式会社「EMC 規格関連資料」  
<https://www.kikusui.co.jp/catalog/pdf/files/2001/iec61000-4.pdf>  
アクセス日:2013/2/6
7. 菊水電子工業株式会社  
「IEC61000-4-4 電氣的ファーストランジェントバースト・イミュニティ試験」  
<http://www.kikusui.co.jp/catalog/pdf/files/2000/iec61000-4-4.pdf>  
アクセス日:2014/2/6
8. 株式会社アルファプロジェクト「MS104-SH4AG 無線 LAN モジュール」  
<http://www.apnet.co.jp/support/an/an1105.pdf>  
アクセス日:2014/2/6
9. Panasonic 法人向け「ZNR サージアブソーバ D タイプ V シリーズ」  
<http://industrial.panasonic.com/www-cgi/jvcr21pz.cgi?J+PZ+3+AWA0002+4++JP>  
アクセス日:2014/1/29
10. Schaffner「FN332」ノイズフィルタ:  
<http://www.schaffner.com/de/product-storage/datasheets/fn-332.html>  
アクセス日 2014/1/29
11. TDK「製品カタログ:フェライト」  
<http://www.tdk.co.jp/tjfx01/ferrite.htm>  
アクセス日:2014/1/29
12. ISO「ISO6654:1981」  
[http://www.iso.org/iso/catalogue\\_detail.htm?csnumber=12938](http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=12938)  
アクセス日:2013/12/23
13. 一般財団法人日本品質保証機構「JISQ9100」  
[http://www.jqa.jp/service\\_list/management/service/jisq9100/](http://www.jqa.jp/service_list/management/service/jisq9100/)  
アクセス日:2014/2/7