

NACHI  
**TECHNICAL  
REPORT**  
Robots

Vol. **33** B2  
May/2018

ロボット事業

■ 新商品・適用事例紹介

人と作業領域を共有する協働ロボット  
「CZ10」

"CZ10" Collaborative Robot that Shares  
Work Space with Worker

〈キーワード〉 協働ロボット・ロボット監視ユニット(RMU)  
安全認証・一体型アクチュエーター

ロボット開発部／マニピュレータ開発室  
二川 正康 Masayasu Futagawa

## 要 旨

協働ロボット「CZ10」は、TUVによる安全認証を取得する予定の“人と作業領域を共有するロボット”である。

ロボット内部の省配線を実現するEtherCAT経由で制御する一体型アクチュエーターや作業者との接触を検知する仕組みなど新しい技術を積極的に採用した。

「CZ10」は次世代ロボットのひとつのかたちを提案するNACHIロボットの全く新しいセグメントをつくり出した。

## Abstract

Collaborative robot, “CZ10” shares work space with a worker and is expected to acquire the TUV safety certification. NACHI actively adopted a variety of new technologies that had not been developed for our previous robots, and these are the all-in-one actuator controlled via EtherCAT to save wiring inside the robot and a mechanism to detect contact with a worker.

“CZ10” presented an entirely new creation of the NACHI Robot that proposes a form of the next-generation robot.

## 1. 協働ロボット開発の狙い

少子高齢化と生産年齢人口の減少が進展することによって日本国内の様々な産業分野で働き手の確保が課題となっている。

この問題は製造業でも切実であって、現場からは人集めに苦勞しているという声がしばしば聞かれる。

一方で新興国の技術レベルの向上に伴って日本国内生産へのコスト低減圧力は相変わらず高く、これまで自動化が行なわれていなかった工程を、産業用ロボットを使って最小限のコストで省人化することが求められるようになってきた。

こうした新たな省人化に求められているのは、元々人が行なっていた作業のロボット化であって、かつ迅速な立ち上げとコスト低減のために人が作業を行なっていた状態からの現場改変を最小限に留めたいという要求と一体となっている。

したがってこのような現場の近傍にはまだ他の作業者が作業している工程が残存しており、安全柵を設置できるスペースも確保が難しいことが多く、通常の産業用ロボットでは対応が困難であった。

そこで、製造業の現場からはこのような現場の省人化を実現するために、人との作業領域を共有することができて安全柵が不要な“協働ロボット”が強く求められている。

私たちはこのような市場要求に応えるために従来型産業用ロボットであるMZシリーズとは別のセグメントとなる協働ロボット「CZ10」を新たに開発した。

以下「CZ10」の特長について紹介する。



## 2. 「CZ10」の概要

### 1) アプリケーション

「CZ10」は以下のようなアプリケーションを想定している。

- ・柔軟物のハンドリングや感性を要求する作業  
といった人にしかできない作業と隣あった作業
- ・ライン構成を変更せずにもともと人が行っていた作業

「CZ10」はこうした作業を安全柵無しに自動化することができる(図1)。



図1 「CZ10」は安全柵が不要

### 2) 外観と仕様

ロボットの外観を図1に、基本仕様を表1に示す。「CZ10」の開発で作業領域を共有している作業者の人たちに威圧感を与えないことをコンセプトとした。そのために滑らかな曲線を描くデザインを採用するとともに、ロボット特有の“硬質感”を低減させるように表面に細かな凹凸を有するサテン艶消し塗装を採用している。

同様に各部のプラスチックカバーの表面も同様の凹凸を持たせて外観を統一している。

また、カラーリングはNACHI製のロボットであることが一目で分かるようにMZシリーズと同じ白とグレーの配色とした。

表1 「CZ10」の基本仕様

項目	仕様	
ロボット型式	CZ10-01	
構造	関節形	
自由度	6	
駆動方式	ACサーボ方式	
最大動作範囲	第1軸	±2.97 rad (±170°)
	第2軸	-1.30 ~+3.14 rad (-75 ~+225°)
	第3軸	±2.88 rad (-77 ~+227°)
	第4軸	±3.14 rad (±180°)
	第5軸	±2.97 rad (±170°)
	第6軸	±6.28 rad (±360°)
最大速度	第1軸	2.09 rad/s (120° /s)
	第2軸	2.09 rad/s (120° /s)
	第3軸	3.14 rad/s (180° /s)
	第4軸	3.14 rad/s (180° /s)
	第5軸	3.14 rad/s (180° /s)
	第6軸	3.14 rad/s (180° /s)
可搬質量	手首部	10kg
手首許容静負荷トルク	第4軸	25.9N・m
	第5軸	25.9N・m
	第6軸	5.9N・m
手首許容最大慣性モーメント*1	第4軸	0.75kg・m <sup>2</sup>
	第5軸	0.75kg・m <sup>2</sup>
	第6軸	0.08kg・m <sup>2</sup>
位置繰り返し精度*2	±0.01mm	
設置方法	床置、天吊	
耐環境性	ロボット本体 IP54相当	
本体質量	60kg	

1 [rad]=180/π [°], 1 [N・m]=1/9.8 [kgf・m]

\*1: 手首許容最大慣性モーメントは、手首負荷条件により異なりますので、注意してください。

\*2: 「JIS B 8432」に準拠しています。

## 3. 「CZ10」の特長

### 1) 協働ロボットに求められる要件

協働ロボットはISO10218-1(JISB 8433-1) (産業用ロボットのための安全要求事項) および TS15066(TS B 0033)に準拠することが求められる。

協働ロボットである「CZ10」もこの安全規格に基づいて設計されている。

規格が求める安全性には以下の2種類がある。

- ・本質安全(構造上担保される安全性)
- ・機能安全(機能によって実現する安全性)

### 2) 本質安全

「CZ10」を見たとき、従来のNACHIのロボットとは大きく異なる外観であることに気が付く。

とくに特長的なのは大きく取られた2つのアーム間のすきまである。(図2)



図2 「CZ10」の外観

これは単なるデザイン上の処理ではなく、本質安全を実現するために必然的な構造である。

大きく確保された“すきま”は万一の場合に作業者が挟まれる可能性を低減する。

そしてその突起の無い滑らかなボディは作業者と接触する際の接触圧を分散して作業者へのダメージを少なくする効果がある。

### 3) 機能安全

ロボットが持つ本質的な危険性を回避するのが機能安全の目的である。

「CZ10」には様々な機能安全の仕組みが備わっており、その代表となるのが“接触検知機能”である。

“接触検知機能”とはロボットが“協働運転モード”状態であって、かつロボットプログラム再生中にロボットが想定しない外力(例えば作業者との接触!)が発生したことを検知し、ロボットを安全に停止させる機能である。

この機能を実現するために「CZ10」のすべての軸には“外部トルク検出機構”が搭載されている。

“外部トルク検出機構”で検出されたトルクから想定される“重力で発生するトルク”と“イナーシャによって発生するトルク”を引き算し、残ったトルクが閾値を超えた場合、ロボットのプログラム再生を停止させる。

この機能は前述の“TS15066”に定められた基準値を満たす必要があり、最も開発に苦勞した機能でもある。

その他に「CZ10」は機能安全として以下の安全機能を有している。

1. 速度監視機能
2. 領域監視機能

“速度監視機能”はあらかじめ設定されたTCP速度を超えないことを担保する機能である。

“領域監視機能”はロボットのどの部位もあらかじめ定められた領域外に出ないことを担保する機能である。

定められたTCP速度や領域は複数を設定可能で、外部安全入力によって切り替えることができ、ユーザーはこれらの機能を適切に使うことによってより高い安全性を確保しつつ効率の良いシステムの構築が可能となっている。

## 4) 一体型アクチュエーター

「CZ10」では新たに一体型アクチュエーター構造を採用している。

一体型アクチュエーターとは減速機とモーター、ブレーキ、エンコーダー、ドライバー回路、サーボ制御回路を一体化した駆動モジュールである。

従来のロボットでは各関節には減速機とサーボモーターが配置され、それらを駆動するドライバー回路は制御装置側に配置される構成であった。

この場合、制御装置とひとつの関節との間はモーターを駆動するケーブル3本とGND1本、エンコーダーケーブル(7本)、ブレーキケーブル(2本)を接続する必要があり、6軸ロボットの場合はこの6倍もの配線(78本)を接続しなければならない。

一方、一体型アクチュエーターを採用した「CZ10」では制御装置と駆動軸との間は電力線とEtherCATケーブルだけで接続されている。

このEtherCATケーブルは各軸の一体型アクチュエーター間を数珠繋ぎで接続されているので、「CZ10」のどの部位であってもEtherCAT1本である。つまり一体型アクチュエーターの採用によってロボット内部の省配線が可能となった。その結果、関節内の配線を捻ることで発生する反力が従来ロボットよりも小さくなって接触力検知精度の向上が実現できた。

## 5) 「CCZ」(CZ専用制御装置)

「CZ10」では従来の小型ロボット用制御装置ではなく、協働ロボット専用の制御装置「CCZ」を新たに開発した。(図3)

以下に「CCZ」の特長を記載する。

- ロボット間通信にEtherCATを採用
- ロボット監視ユニット「RMU30」内蔵
- 従来制御装置+ロボット監視装置の組みあわせよりも小型(図4)



図3 「CCZ」制御装置

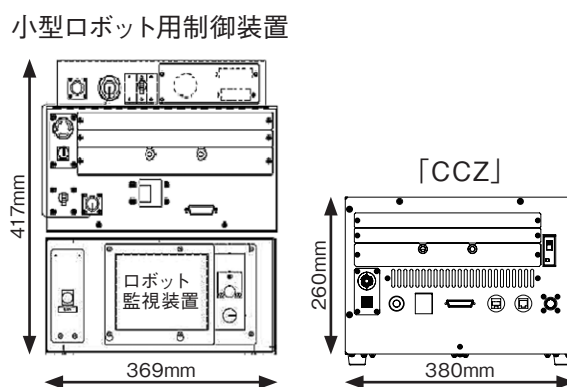


図4 従来の制御装置と「CCZ」とのサイズ比較



表2 「CCZ」仕様表

項目	仕様
制御軸数	標準6軸
サーボモーター	ACサーボモーター
位置検出器	アブソリュートエンコーダー
教示方式	ティーチングプレイバック
プログラム選択数	9,999種
メモリ容量	256MB(2,560,000ステップ相当)
ティーチペンダント	高機能TP 3ポジションイネーブルスイッチ、 非常停止ボタン 5.7" カラー LCD (640×480グラフィック表示)、 タッチパネル USBメモリポート付き 標準ケーブル長:4m、 保護等級IP65相当(コネクタ部除く)
	ミニTP 3ポジションイネーブルスイッチ、 非常停止ボタン モノクロ、 20文字×4行キャラクタ表示(英数字、カナ) 標準ケーブル長:4m、 保護等級IP54相当(コネクタ部除く)
操作スイッチ	モード切替えスイッチ(教示/再生)、 非常停止ボタン
安全機能	PLd(カテゴリ3対応) ミッションタイム20年
ロボット制御装置間 ケーブル	標準ケーブル長:5m(標準長)
記憶方式	フラッシュメモリ
外部記憶装置	USBメモリ対応(オプション)
拡張スロット	PCI 2スロット
保護等級	IP20
一次電源仕様	単相 AC200 ~ 220V±10%、 50/60Hz、D種接地 サーキットブレーカ容量15A、 過電圧カテゴリ2 汚染度2 クラスII機器
インターフェイス内部電源	DC24V 0.8A
周囲温度	0 ~ 40°C(50/60Hz)
周囲湿度	20 ~ 85%(結露無きこと)
標高	海拔 1,000m以下
外形寸法	W380×H260×D460
質量	約20kg
その他	RoHS対応

## 6) EtherCATの採用

上述のように「CZ10」と制御装置との間は電力線を除けばEtherCATケーブル1本だけで接続されており、エンコーダー値や位置指令値、エラーコード、ステータス情報、GPIO値などのあらゆる情報がこのEtherCATケーブル1本でやり取りされる。

通信プロトコルはEtherCATを採用して、伝送速度は100Mbpsである。

この結果、省配線が実現されるとともにコネクタ数が激減したことでコネクタに起因する故障確率が大幅に低減することが期待される。

さらにEtherCATの拡張コネクタを手首軸に装備しているため、将来的にはEtherCAT対応のハンドやI/Oモジュールなどをこのコネクタに接続して機能拡張することが可能である。

## 7) ロボット監視ユニット「RMU30」

「CZ10」の機能安全は実は「CCZ」が内蔵している協働ロボット専用のロボット監視ユニット「RMU30」が担っている。

「RMU30」は常に「CZ10」の動きを監視しており、「CZ10」が何らかの原因、例えばアクチュエーターの故障、プログラムのバグなどによって、あらかじめ設定されていた条件に違反する動作を行なった場合は直ちにサーボ電源を遮断する。

「RMU30」は汎用安全入力4系統と汎用安全出力4系統を持っているが、「CZ10」を協働運転モードで動作させるためには少なくともひとつの汎用安全入力を使って「CZ10」を協働運転モードに移行させる必要がある。

この汎用安全入力を使ってLRF(Laser range finder)と接続すると、ロボット周囲に人がいるときのみ「CZ10」を協働運転モード(低速)で動作させ、それ以外では通常運転モード(高速)で動作させるという使い方ができる。

この「RMU30」による機能安全(ISO10218-1)は、第三者機関の認証試験で合格している。

## 8) ダイレクトティーチング

「CZ10」は付加ハードウェアなしでダイレクトティーチング機能を使うことができる。これは「CZ10」のすべての軸が“外部トルク検出機構”を持っているからである。

「CCZ」は“外部トルク検出機構”によってダイレクトティーチング操作者が「CZ10」に加える力を各軸のトルクに変換し、その操作者が意図した姿勢になるように「CZ10」を制御する。

そして、「CZ10」は次の3種類のいずれかの操作モードでダイレクトティーチングを行なうことが可能である。

1. 各軸フリーモード
2. ロボット座標系モード
3. ツール座標系モード

各軸フリーモードはそれぞれの軸がフリーとなる操作モードである。(図5)

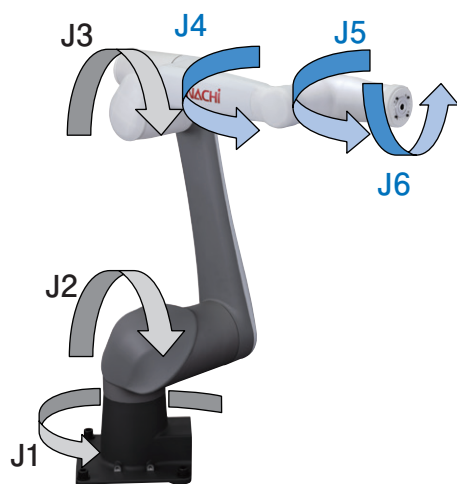


図5 各軸フリーモード

ロボット座標系モードはロボット座標系に沿った方向にフリーにする操作モードである。例えばTCPをX方向の移動だけ操作し、それ以外の方向への移動を拘束することができる。(図6)

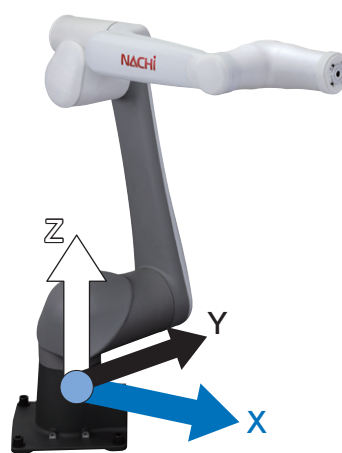


図6 ロボット座標系モード

ツール座標系モードはツール座標系に沿った方向にフリーにする操作モードである。例えばJ6軸の回転軸方向にのみ移動させるといった使い方ができる。(図7)

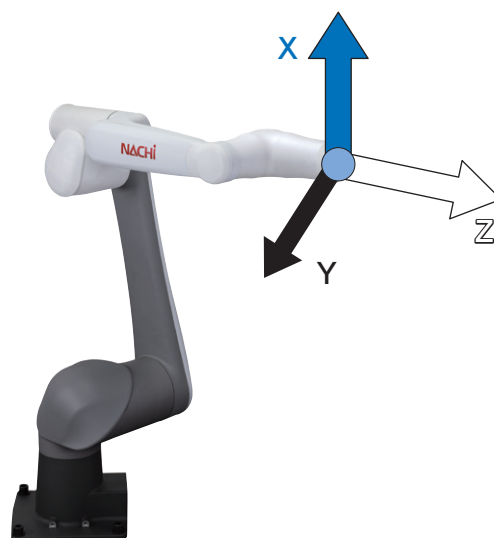


図7 ツール座標系モード

## 4. これからの展開

NACHIが今回初めて協働ロボットとして開発した「CZ10」について、従来機にはない様々な特長について紹介した。

開発当初は協働ロボットの運用についてユーザー側も十分に理解している人はいなかった。しかし、現在は運用事例が増えつつあり、どんなところでどのように運用すると効果的かが判ってきたところである。私たちはこのような現状をふまえ、「CZ10」をベースに、お客様のニーズにあった協働ロボットを開発していく。

### 参考文献

- 1) 小坂俊介・杉岡和実：世界最速、軽量コンパクトロボット「MZ07-CFD」  
NACHI TECHNICAL REPORT Vol.26 B2 Oct (2013)
- 2) 伊東輝樹：「SRAシリーズ 中空アーム仕様」  
NACHI TECHNICAL REPORT Vol.27 B1 May (2014)
- 3) 小坂俊介：小型・超速ロボット「MZ04」  
NACHI TECHNICAL REPORT Vol.29 B3 June (2015)
- 4) 井田信也：フルカバー小型ロボット「MZ12」  
NACHI TECHNICAL REPORT Vol.32 B3 Nov (2017)