

# 重量鉄筋配筋作業支援ロボット（配筋アシストロボ）の開発

清水建設(株) 正会員 ○大木 智明  
 (株)ATOUN 小西 真  
 (株)エスシー・マシーナリ 本保 裕文

## 1. はじめに

建設業では、高齢化による大量離職等により今後 10 年間で技能労働者が約 130 万人減少することが予測されている。このような中、必要な社会インフラを整備していくためには、生産性向上は喫緊の課題である。

また、コンクリート工においては、近年の耐震化により鉄筋が太径化・高密度化し、鉄筋組立時の負担が増大している。さらに技能労働者の高齢化も相まって生産性が低下している。そこで、重量鉄筋の配筋作業に着目し、熟練技能労働者のコストを生かしながら作業負担を大幅に低減できる、人間の腕の動きを模した重量鉄筋配筋作業支援ロボット（配筋アシストロボ）（以下「本ロボット」という）を開発した。写真-1 に本ロボットを示す。



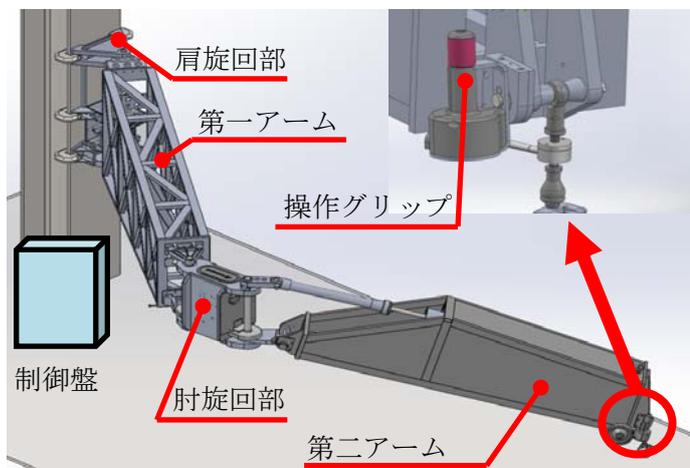
写真-1 本ロボット全景

## 2. 技術の内容

### (1) 技術の概要

本ロボットは、人間の肩、上腕、肘、下腕、手にそれぞれ相当する 5 パーツと制御盤で構成されている。図-1 に構造概要を示す。サーボモータを採用しアーム関節をアシスト制御することにより、人間の腕に近い動作性を実現した。また、人力での運搬を可能にするため軽量化を図り 4 分割できる構造とし、各重量を約 40kg ～約 60kg に収めた。諸元を表-1、水平可動範囲を図-2、鉛直可動範囲図を図-3 に示す。また、操作グリップ内には圧力センサー（6 軸力覚センサー）が内蔵されており、操作者の微妙な手の動きをも感知して本ロボットが動作するので、操作者の意のままに鉄筋を移動することができる（ハンドガイド方式）。さらに、鉄筋重量は本ロボットが負担するため、重量負担なく鉄筋の移動ができる。これにより、鉄筋組立時における苦渋作業からの開放と、人とロボットの協働作業が実現した。本ロボットは、配筋作業の省人化・省力化が図れ、安全性も向上し、労働環境の改善にも役立つ技術である。

表-1 本ロボット諸元表



|        |                          |
|--------|--------------------------|
| 定格荷重   | 250kg                    |
| 作業半径   | 約 5.3m                   |
| 揚程     | 約 2.0m                   |
| 分割数    | 4 分割                     |
| 入力電源   | 三相 AC200V                |
| 水平方向操作 | 操作グリップ式<br>(6 軸力覚センサー内蔵) |
| 上下方向操作 | ボタン式(昇降スイッチ式)            |
| 肩関節軸   | 100W サーボモータ              |
| 肘関節軸   | 50W サーボモータ               |
| 昇降軸    | 750W サーボモータ              |

図-1 本ロボット構造概要

キーワード ロボット, 鉄筋, アシスト, ハンドガイド方式, 省人化, 協働作業

連絡先 〒104-8370 東京都中央区京橋二丁目 16-1 清水建設(株)土木技術本部 TEL:03-3561-3886

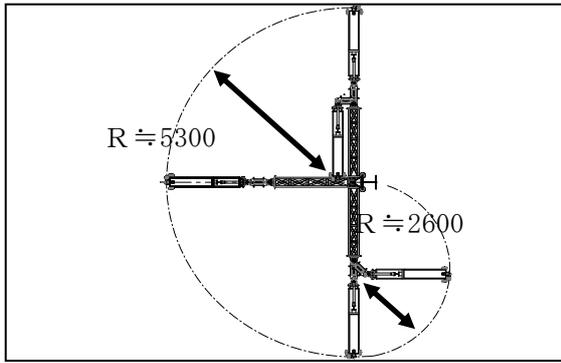


図-2 水平可動範囲図

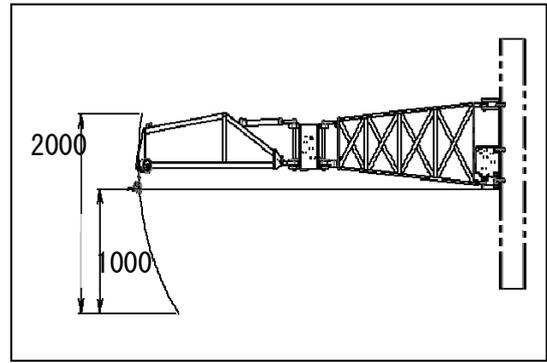


図-3 鉛直可動範囲図

## (2) 開発のコンセプト

構造物を構築する際、どこにどのような鉄筋をどれだけ配置するのか、その鉄筋の太さや長さ、配置間隔等、いわゆる配筋の仕様は構造物によって異なり、まったく同一のものはない。その上構築する場所も同じ場所ではないため、配筋作業自動化の弊害となっている。また、効率よく鉄筋配筋作業を行うには組立て順序等に熟練者のノウハウが必要である。しかし、配筋作業は体力が必要なため、熟練者が高齢化すると体力が落ち、配筋作業についてのノウハウを持っていても、体力的な面から配筋作業に従事することは困難であった。

そこで、体力のいる力仕事部分はロボットで補い、高齢化した熟練技術者のノウハウを継続して活用可能とする‘人とロボットの融合したシステム’の構築をコンセプトにして、鉄筋組立作業の大幅な生産性向上を目指した。

## (3) 技術の特徴

本ロボットは以下の特徴を持っている。

### ① 【人とロボットの協働作業の実現】：

力仕事は本ロボットが分担し、操作（ノウハウ）は人が分担することにより、お互いの強みを生かす‘協働作業’が実現した。

### ② 【人間の腕のモデル化】：

自らの腕のような直感的操作が可能となった。

### ③ 【分解組立方式の採用と軽量化】：

軽量化の追求と分解組立方式採用により人力での組立・解体を容易に行うことが可能となった。

### ④ 【サーボモータとアシスト制御の採用】：

なめらかな動作性を持ち、細かい調整が必要とされる詳細位置決めにも支障なく使用が可能となった。

## (4) 運用方法

本ロボットは、鉄筋配筋作業において、対象の鉄筋重量に関わらず操作者1名、介添者1～2名で使用することを基本としている。その使用イメージを図-4に示す。操作者は、本ロボット先端にて操作をして鉄筋を移動する。介添者は、鉄筋端部に配置し、鉄筋移動時の荷ぶれ防止や鉄筋の正確な位置への誘導と鉄筋の固定を行う。配筋作業時は、本ロボットを固定した後昇降ボタンを操作して重量鉄筋を持ち上げる。その後、操作者が操作グリップを移動したい方向に押すだけで、動きに合わせてサーボモータが稼働し、アームがアシスト制御され、操作者の意図する方向に水平移動できる。

アームが操作者の意思と判断に合わせて直感的かつなめらかに動くため、計画線（墨）に合わせて難なく配筋できる。

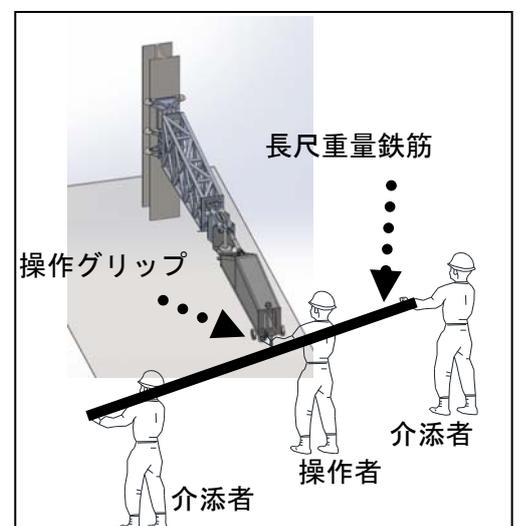


図-4 使用イメージ図

### 3. 技術の効果

#### (1) 現場への適用

2016年12月に2つの工事現場において実際に本ロボットを適用した。適用結果について述べる。

##### a) 適用結果 1

ランプ道路用1連ボックスカルバートの頂版部の主筋D51で適用を行った。以下図-5に鉄筋加工図を示す。なお、本適用箇所は埋設型枠を使用しているため、鋼製リブ材や鋼材が存在し、特に鉄筋組立のしづらい場所であった。



図-5 鉄筋加工図

本ロボットを使用した場合と従来通り施工した場合（人力組立）の比較を定量的に行った。以下に本ロボットを使用した場合と従来通り施工した場合の比較を表-2に示す

表-2 適用結果 1

| 適用鉄筋：D51 4t (L=10m+6.5m 15セット) | 本ロボット(A) | 従来(B) | (A)/(B) |
|--------------------------------|----------|-------|---------|
| 鉄筋組立時間(分)                      | 120      | 150   | 0.80    |
| 鉄筋工数(人)                        | 4        | 6     | 0.67    |
| 物的労働生産性(施工量(kg)/(工数(人)×時間(分))  | 8.33     | 4.44  | 1.88    |
| 一人あたり重量負担(kg)                  | 0        | 28    |         |
| (参考)準備・解体時間(分)                 | 20+20    | 0     |         |
| 準備解体を含めた物的労働生産性                | 6.25     | 4.44  | 1.41    |

ここでは生産性を評価する指標として、1分で1人あたりに施工した鉄筋重量を「物的労働生産性」と定義して比較した。この結果より、本ロボットにより物的労働生産性は約1.9倍となった。1箇所での配筋作業がおこなえる施工量は配筋の仕様（鉄筋間隔、鉄筋径、長さ）により変化するが、参考として本ロボットの準備・解体時間を考慮しても約1.4倍の効果があることが確認できた。

##### b) 適用結果 2

道路用2連ボックスカルバートの頂版部の主筋D51で適用を行った。以下図-6に鉄筋加工図を示す。



図-6 鉄筋加工図

本適用では2本を一度に運搬した。以下に本ロボットを使用した場合と従来通り施工した場合（人力組立）の比較を表-3に示す。

表-3 適用結果 2

|                                | 本技術(A) | 従来(B) | (A)/(B) |
|--------------------------------|--------|-------|---------|
| 鉄筋組立時間 (分)                     | 83     | 110   | 0.75    |
| 鉄筋工数 (人)                       | 2      | 2     | 1.00    |
| 物的労働生産性 (施工量(kg)/(工数(人)×時間(分)) | 24.10  | 18.18 | 1.33    |
| 一人あたり重量負担(kg)                  | 0      | 48    |         |
| (参考) 準備・解体時間 (分)               | 20+20  | 0     |         |
| 準備解体を含めた物的労働生産性                | 16.26  | 18.18 | 0.89    |

適用例 2 においては、鉄筋投入開口寸法の制約と人力で組立作業をすることを考慮して、1 本 6 m に分割されて施工している。その上組立時には、当初から省力化・省人化の工夫を既に行っている。以上の対策をおこなった状況下であっても本ロボットを使用すれば物的労働生産性は約 1.3 倍あり、効果が十分あることが確認できた。また適用例 1 と同様に重量負担軽減効果も大きい。

## (2) 開発の効果

以上の適用結果を踏まえ、開発の効果を述べる。

### ①生産性向上

純粋な配筋作業の効率性を評価する指標として、1 人が 1 分あたりに組み立てた鉄筋重量を物的労働生産性（施工鉄筋重量/施工人数/施工時間）と定義し比較を行った。比較の結果従来比約 1.9～1.3 倍の生産性向上がみられた。

### ②省人化

長く重い鉄筋程効果が大きく、削減できた人員は他の鉄筋組立作業に従事できるため、施工効率が上がる。

### ③省力化

配筋時の鉄筋重量は、本ロボットが負担するため、作業員の配筋時重量負担はない。

### ④安全性向上・労働環境改善

鉄筋組立作業に必要な作業人員も取扱重量も減り、かつ自分で操作するため危険回避へのレスポンスもある。この結果、事故リスクが減り安全性が向上するとともに、重量物取扱い作業からも開放されるため、労働環境の改善につながる。

### ⑤機動的運用

持ち運びが人力で容易に行えるため、重量負担が大きい作業にピンポイントでの使用が可能である。

### ⑥人とロボットの協働作業実現により、高齢熟練者のノウハウを継続して活用できる。（体力が落ちてでも使える）

## 4. 課題と改良点

現場実証を行った結果以下の 2 点の改良を行うこととした。

### (1) 作業範囲の拡大（汎用性の拡大：一回の設置で作業できる範囲を増やす）

適用例 1, 2 で使用した時点ではアームの腕の動きは右腕同様の作業範囲であった。これは、操作グリップで感知した方向に肘関節部のモータを角度制御する際には、どちらか一方の方向に曲がるように制御する必要があったためである（ソフト的な制御の問題から困難であった）。そこで、人は一般的に右利きが多いため、自分の右腕のように直感的に操作できるように、右肘同様の動き（回転）をするように回転角度を制限した。

今回は、一度の設置でより広い回転範囲を確保し、汎用性を上げるために、左腕同様の動きも可能になるように（図-7）制御システムの改造と左右切り替えスイッチの増設を行った。切り替えのタイミングとしては、肘部がまっすぐになった時点で右腕仕様と左腕仕様を切替えることでソフト的な問題を回避した。今後現場での適用を通じ、効果を確認していく。

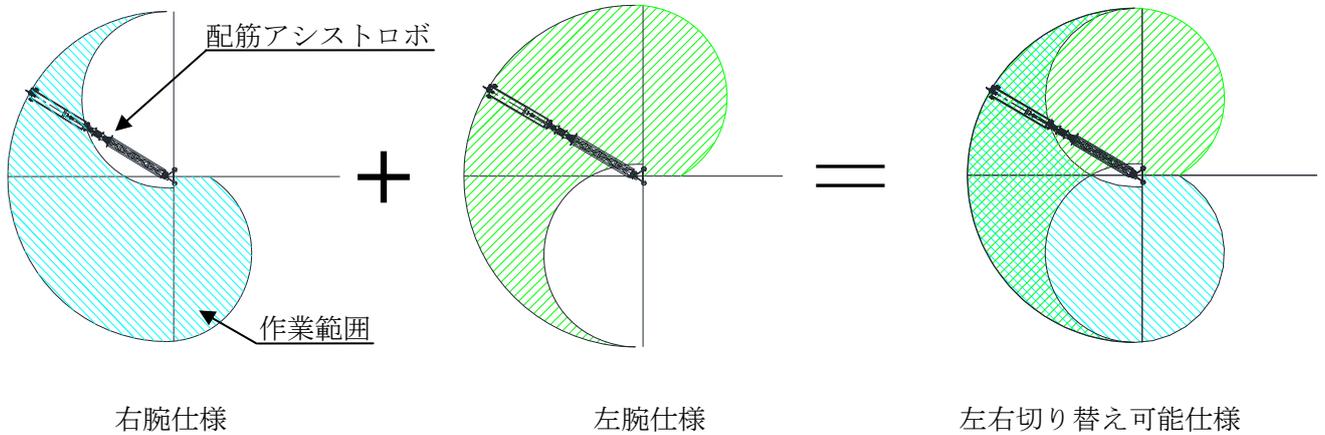


図-7 回転範囲の拡大

**(2) 操作グリップの操作性向上（操作グリップの形状変更）**

当初想定した持ち方以外で操作した場合、極端な操作（上部へ目いっぱい動かす等）をおこなった場合、操作者の思う方向へ行きづらい事象が何回か見られた。これは、フレーム部にゆがみが生じ、センサー感知部に接触していたことが原因であった（図-8）。そこで、原因となるフレーム構造を見直し、フレームのない新たな形状を採用することとした。試運転時における操作でその有効性に検証をおこない問題ないことを確認した。今後適用を進める中でその有効性を引続き検証していく。

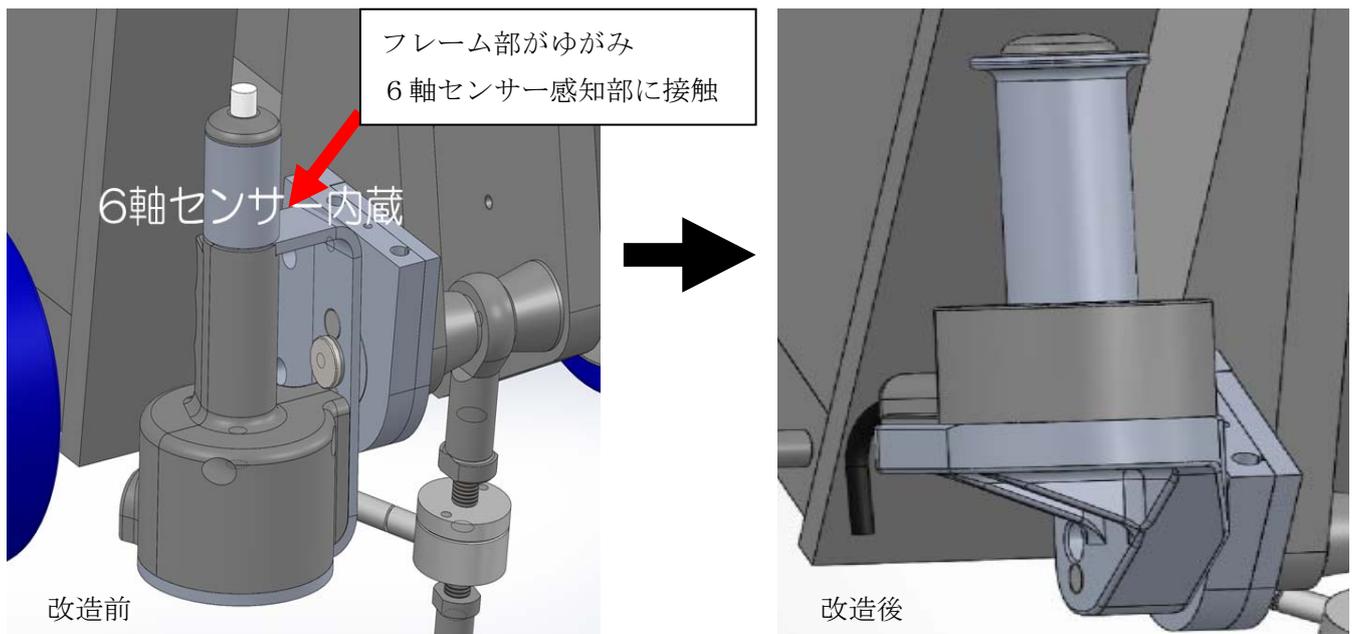


図-8 操作グリップの改造

## 5. 今後の展開

本ロボットの設置方法は、今回適用時のようにH鋼（中間杭）に取り付ける以外にも、施工条件により変更が可能である。例えば移動用レールを事前に設置しておき移動式としたり（図-9）、またバックホウ等の建設機械に取付け自走式とすることも可能である（図-10）。さらに、建設分野以外でも、一般的な重量物の移動・設置作業に適用が可能であり、広い汎用性を持つ。今後、重量鉄筋を扱う現場に展開するだけでなく、鉄筋組立工以外での適用も視野にいれ広く展開していく所存である。

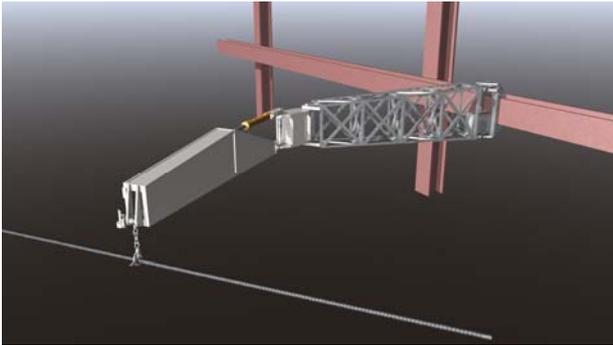


図-9 例：移動式

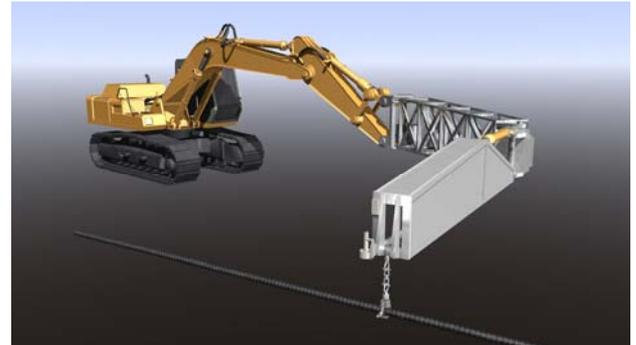


図-10 例：自走式

## 6. 参考文献

- 1) 大木智明, 配筋作業をアシストするロボットアーム型作業支援ロボットー『配筋アシストロボ』, 電力士木, 第388号, pp. 97-99, 2017
- 2) 金丸清人, 配筋アシストロボの開発, 月刊技術士, 6月号, pp. 4-7, 2017