炎の中のとがった物体でもつかめる数珠状の柔軟堅牢ロボットハンドを開発

東北大学のグループは、炎の中の高温でとがった物体、複雑形状物や脆弱物体など、多様な物体をつかめるロボットハンドを新規に開発しました（図 1）。

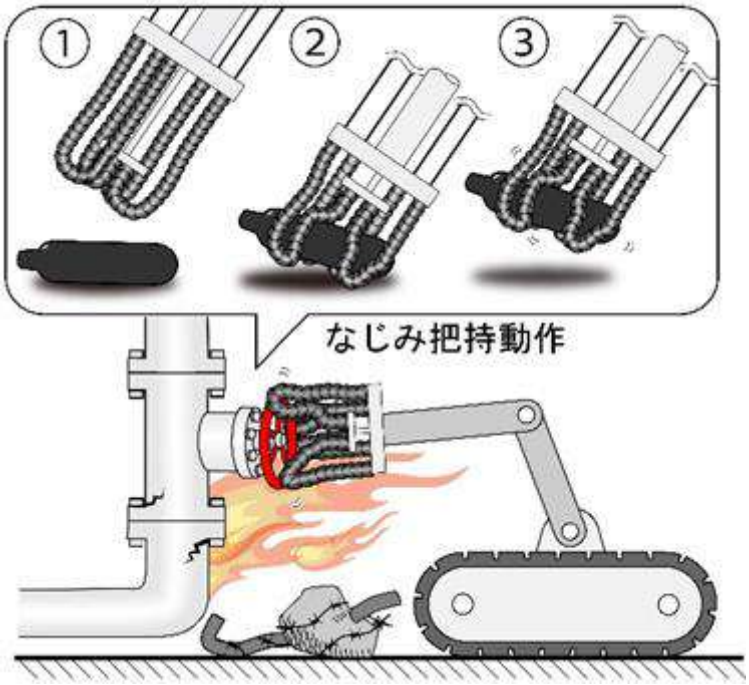


図 1　耐火・耐切創性数珠状ロボットハンドの基本コンセプト

ロボットハンドの全体構造を、数珠のような指を放射状に配置することで、袋が破けるということ自体が発生しない構造を確立しました。これにより、高い耐切創性、また、数珠のピースを金属素材にすることで著しく高い耐火性と柔軟性を両立し、つかむ対象はもとよりロボットハンド自身を傷つけることなく作業を行うことができます。

これまで開発された袋型のロボットハンドは、さまざまな形状の物体をつかむことができる一方、ゴムや布の耐熱性が低く、灼熱の環境下では作業が困難といった問題がありました。この成果により、つかめる物体の範囲が飛躍的に拡大されるため、火災など灼熱災害現場で熱源へアクセスするための瓦礫除去はもとより、工場での高温作業・生産性向上にも大きく寄与すると期待されます。

＜研究成果の概要＞
ロボットハンドの構造を図 2 に示します。ロボットハンドは、数珠状の指を放射状に配置した対称構造となっています。この構造により、物体を包み込むようにしてつかみます。

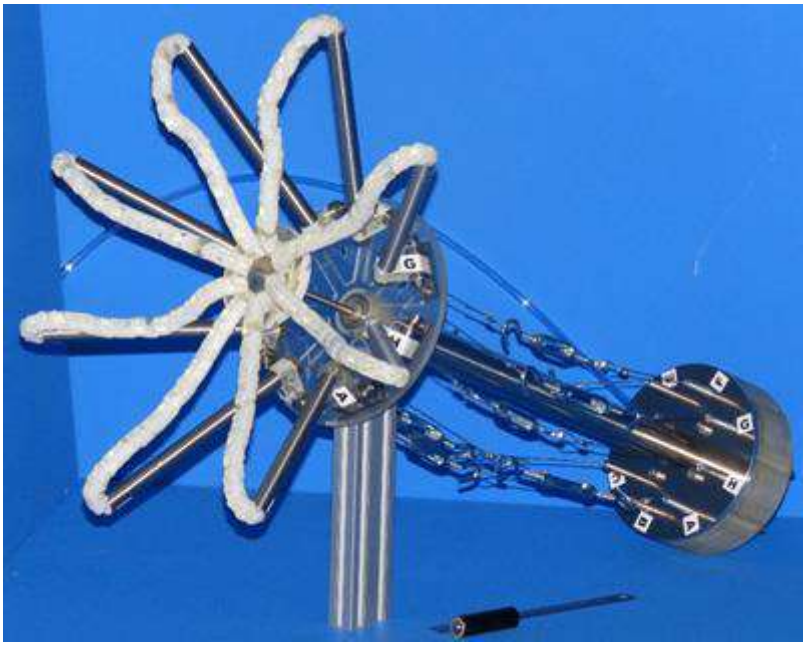


図２　開発した数珠状ロボットハンド機構の外観

従来の粉体を用いたジャミング転移現象を用いた柔剛の切り替え機能は、袋構造を有しており、袋が破けると十分に働かなくなるため、従来のロボットハンドではとがった物体はつかめませんでした。当研究チームでは、この問題を解決するために、次に示すように、従来とは全く異なる構造のロボットハンドの考案と具現化を目指しました。

１．ロボットハンドの全体構成：数珠状の指構造の放射状配置

耐切創性を究極にまで高めるために、実機実験を通して各種素材・構造を時間をかけて検討した結果、「『破ける』という現象自体が起こりえない」数珠状の構造を持った指を放射状に配置した全体構造にするという考えに行き着きました。この数珠状の指は、内部のワイヤーを引くことにより、それぞれのピースが接触力を高めて硬くなるという性質を持っています。

従来のジャミング転移現象を用いる袋型の構造では、内部に空気を含む構造であったため、とがった物体と接触すると袋が破けたり、灼熱環境下では内部の空気が膨張したり、袋の素材であるゴムや布自体が高温下では機能しなかったりという問題がありました。この数珠状の指を持つロボットハンドでは、数珠のピースに耐火性の高い金属素材を用いることによって、耐久性のみならず、著しく高い耐火性をも実現することが可能となりました。

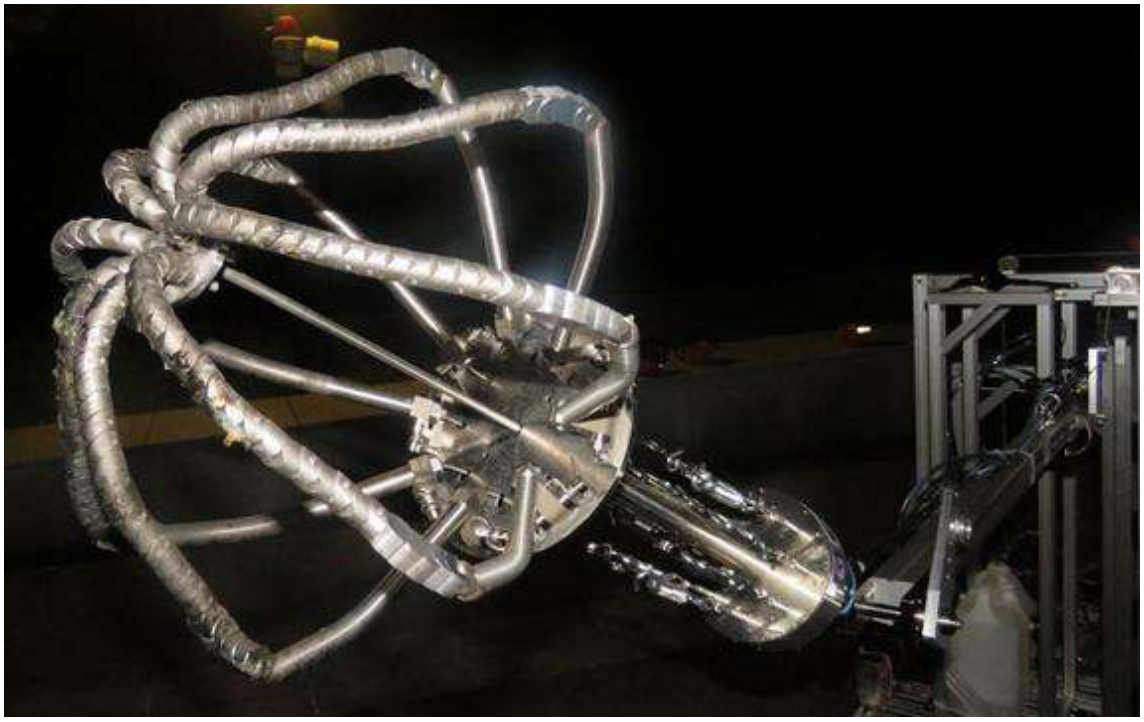


図３　耐火性を実現した数珠状ロボットハンド機構の外観

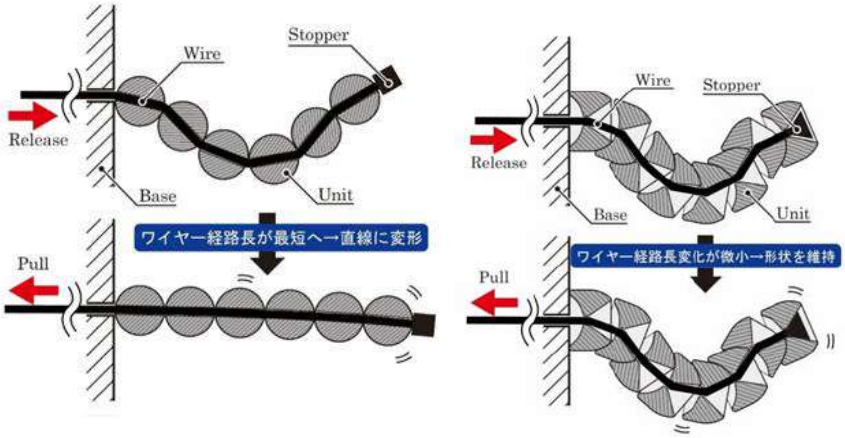
図４　台車上のアーム先端に搭載した様子

２．技術的ポイント：線状の柔剛切り替え機構におけるユニット形状の最適化

数珠状の１次元ジャミング機構における１つのユニットの円弧部と表面摩擦具合が今回技術的にも非常に困難だったポイントです。図６(a)に示す球状では経路形状を維持することが困難でしたが、１ピースの構造を(b)に示すお椀形とすることにより、経路形状を維持した状態で剛性を高め硬化することが可能となりました。この１次元ジャミング機構に、１方向にのみ湾曲するように数珠構造をかえ、ロボットハンドへと応用したものが図７に示す機体となります。

これにより、センサもアクチュエータもロボットハンド内部には搭載することなく、物体の形状へなじみ適用する機能を有しながらも、するどくとがったものに接触したり、刃物で切りつけたりしても袋が破損しない、従来にない極めて高い耐火性・耐切創性を持つロボットハンドが実現できました。

図５　柔剛切り替え可能な線状メカニズム（１次元ジャミング機構）の外観



（a）単一ユニット対称形状　　（b）単一ユニットお椀形状

図６　１次元ジャミング機構の基本原理

図７　１次元ジャミング機構を指としたロボットハンドの外観（簡易型汎用版）

２．各種把持実験

以上の数珠状の指を有するロボットハンドにより、図８に示すように、とがった物体をつかむ実験を行いました。従来では柔軟なゴム膜がバルブのとがった部分に接触し破損していましたが、今回開発した数珠状の１次元ジャミング機構の指を用いたロボットハンドの方式では、破損なく開閉作業が行えることを確認しました。

図８　ロボットハンドでつかむことが可能な日常品の例
（刃物を刃部からも把持可能）

また、図９に示すように、有刺鉄線が絡みついた状態で歪な形状をした鉄棒を炎の中にロボ

ットハンドを挿入して約２ｋｇの瓦礫をつかむ実験にも成功しました。図 10、11 に灼熱環境下での作業の全体像と、このロボットハンド部の動作の拡大図をそれぞれ示します。

図９　灼熱環境下における有刺鉄線の絡まった瓦礫の把持

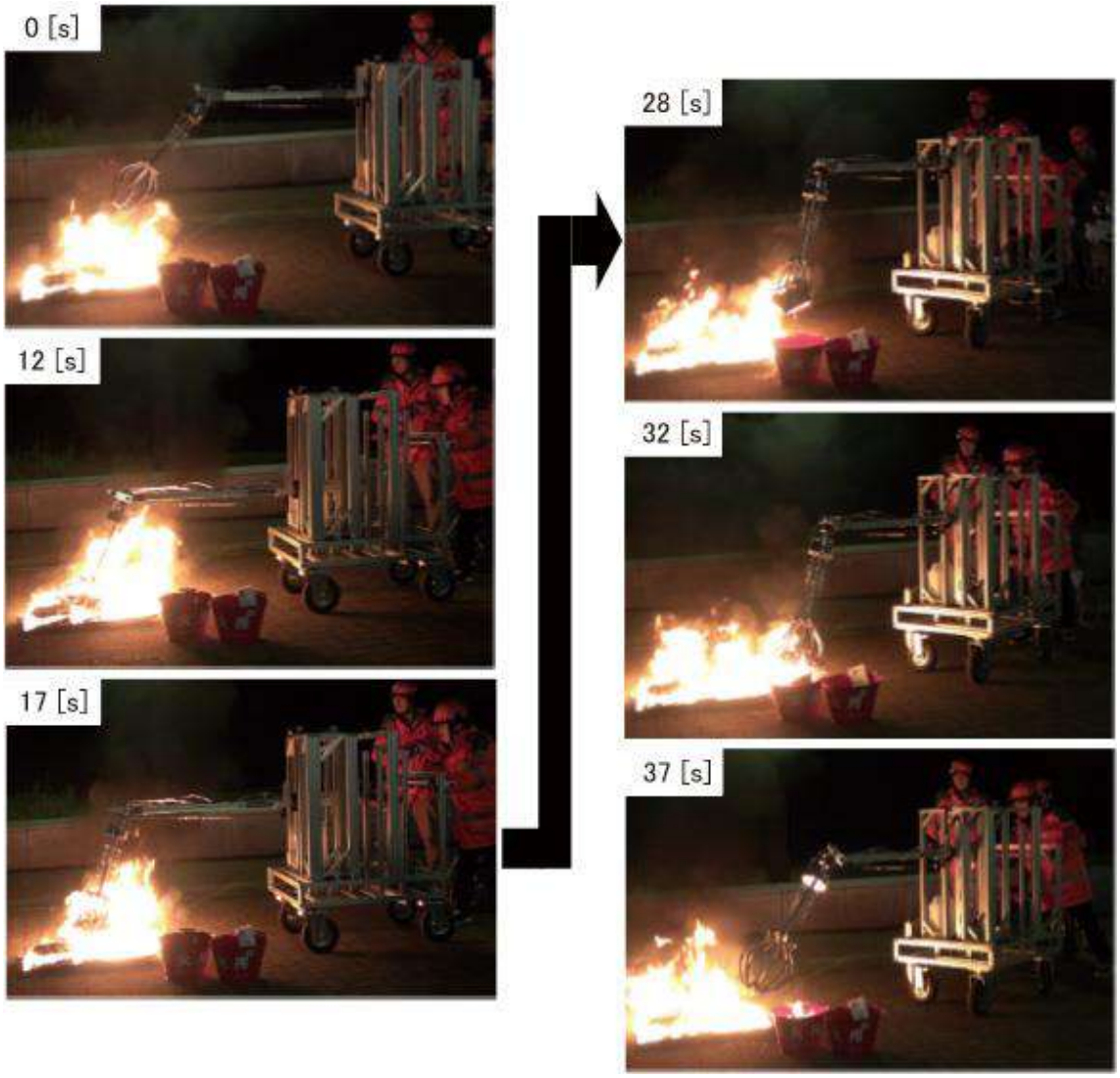


図 10　耐火性グリッピング実験全体像

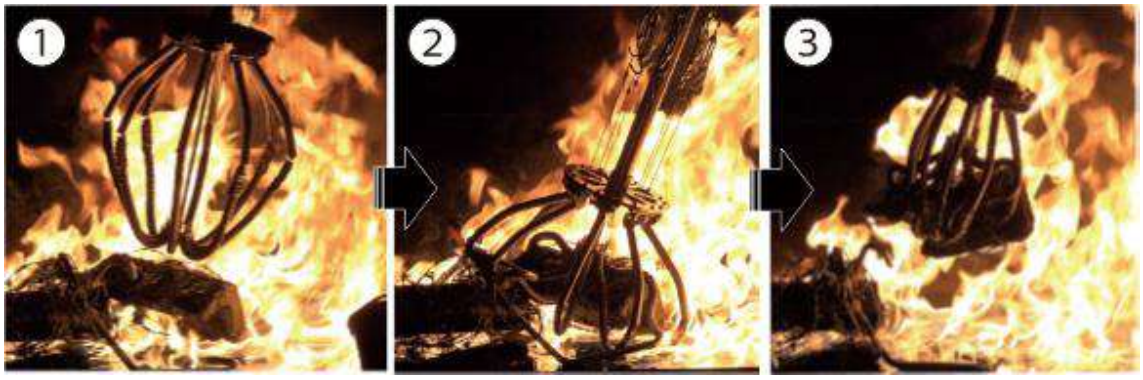


図 11　耐火性グリッピング実験のロボットハンド部拡大図

以上のように、このロボットハンドを用いれば、灼熱の環境下で、高温の物体や、破損したバルブ、不定形な割れたガラス類や、建築用で飛び出た釘類、鉄条網などの、従来不可能であった高温・とがった・不定形・脆弱軟弱な物体をつかむことが可能となります。

さらに、放水銃をロボットハンドの中央に設けることで、瓦礫や扉・蓋をこじ開け、先の火元へ直接消火剤をかけて迅速かつ確実に消火を促す機器への展開も考えられます。

また、このロボットハンドは軽量なため災害対応用ヘビ型ロボットや脚型ロボットをはじめとする各種プラットフォームに搭載可能です。

このような耐切創性に加えて、耐火性の向上は、炎が存在する火災を含めた災害現場はもとより、工場における生産現場における柔軟ロボットハンドの実用性を飛躍的に高めるものであり、今後の広い活用が見込まれます。

日文发布全文 https://www.jst.go.jp/pr/announce/20181025-2/index.html