

◆ 安全・安心を支える技術開発特集 ◆

遠隔操作型建設機械による災害復旧作業の迅速化

江原正隆* 新田恭士** 江本 平***

1. はじめに

わが国は、火山噴火による火砕流、台風、集中豪雨等による土石流、地すべり、崖崩れ等の土砂災害等が多数発生しており、甚大な被害をうけることが多い。これまでにも、平成2年の長崎県雲仙普賢岳の噴火による火砕流、平成9年の鹿児島県針原川における土石流、北海道第二白糸トンネルの岩盤崩落、最近では、今年の北海道有珠山の噴火による土石流等が発生している。従来、これらの土砂災害の復旧作業は、作業の安全が確認された後、汎用型の建設機械にオペレータが搭乗し操作することにより(以下、搭乗操作という)行われていた。しかし、被災直後は二次災害の発生が懸念される場合が多く、早急な対応の必要な災害復旧作業は危険性が高い。近年、この様な場合の対策として、作業員が安全な場所から操作できる遠隔操作型の建設機械が活用され効果を發揮している。

しかし、遠隔操作型の建設機械が使用された災害復旧現場における事例調査から遠隔操作型建設機械の課題を抽出・整理した結果、要求のある遠隔操作型の建設機械は台数が少なく、災害時における迅速な調達に苦慮していることがわかった。

本報告では、これに対応し、汎用型の建設機械を遠隔操作型へ短時間で改造する技術を検討し、改造方法を案としてまとめた。案の中では、調達時間の短縮のため、汎用機械に事前に装着する機器の共通化を併せて検討した。

2. 遠隔操作型建設機械を使用する際の課題

これまで遠隔操作型の建設機械を使用した土砂災害復旧現場を対象に事例調査を行った結果、遠隔操作型機械の調達には汎用機械の調達より大幅に時間を要すること、および復旧現場で要求される機種・規格が投入可能な状態で存在しないことが課題となった。

2.1 調達における現状の課題

現在の遠隔操作型建設機械の大まかな調達手順

Development of Adaptation Technology for Remote-controlled Construction Equipment with the Rapid Introduction into Disaster Area.

を図-1に示す。

災害が発生すると、災害の規模、復旧作業の緊急性等を勘案し、遠隔操作型建設機械による復旧を行うことが決定される。決定後、建設機械メーカーや施工会社等へ遠隔操作型建設機械の保有状況を確認し、調達の手配・確保を行う。その後、輸送経路等の輸送方法を決定し被災地へ輸送を行う。被災地に到着後受信機の装着、機械の整備が行われ復旧現場に投入され、作業が開始される。

このような工程の中で時間を要しているのは、遠隔操作型建設機械の台数が少ないとによる調達の手配・確保である。

表-1に平成12年4月の建設省のホームページに掲載されている遠隔操作型建設機械の台数を示すが、表からわかるように2機種ともに全国的に台数が少なく、また地方により偏りがある。このため、災害発生現場の近くに機械がない場合、輸送が長距離になることがあり調達に時間を要する。

また、遠隔操作型建設機械は、被災地へ直ちに提供可能な状態で、機種・規格が管理されているわけではない。

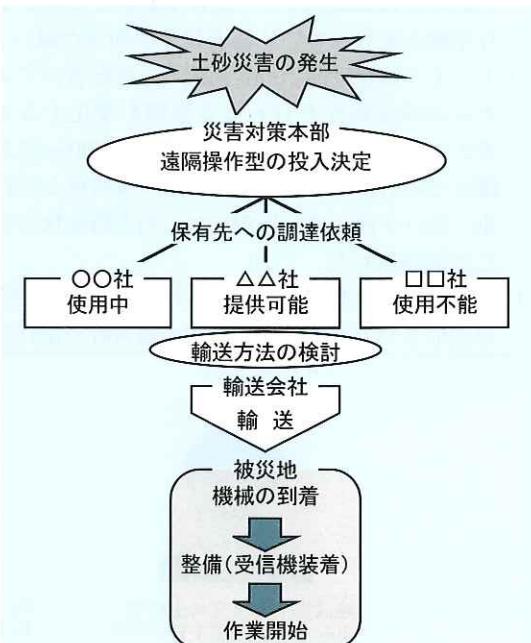


図-1 現在の調達体制

表-1 遠隔操作型建設機械の全国分布

機種	バックホウ	ブルドーザ
北海道	5	0
東北	3	0
関東	12	15
北陸	18	0
中部	7	0
近畿	7	1
中国	2	0
四国	0	1
九州	6	4
合計	60	21

2.2 課題克服のための対策

調達台数不足への対策としては、調達可能な仕様の遠隔操作型機械の全国普及促進が考えられるが、これらの機械に対する日常的な需要は低く、通常の搭乗操作で不要の油圧・電装機器等が搭載されるため、機械価格も高価となり、併せてこれら機器の定期的メンテナンスも必要となることから、市場での普及は期待しにくい。そこで、汎用型の建設機械を遠隔操作型に改造する技術を開発し、遠隔操作型への改造が可能な汎用型建設機械を市場に普及させることによりこれらの課題の克服をはかる方法が考えられる。

併せて、これらの改造可能な汎用型建設機械を被災現場に速やかに投入・改造し使用可能な状態にするため、改造可能な機械の保有情報や調達、現地改造手順を十分検討し迅速な対応体制を確立する必要がある。

3. 遠隔操作型への改造技術の検討方法

汎用型建設機械の遠隔操作型への改造は、市場にある全ての機種・規格に対応することは現実的に困難である。そこで、市場の動向を調査し改造対象を限定し、それに対する改造方法の検討を行った。以下に検討手順について述べる。

- ①改造対象とする機種・規格を限定する。
- ②それぞれの機種・規格およびメーカー毎に遠隔操作に必要な機器を抽出する。
- ③改造機器の取付方法と各メーカー間の共通化の検討を行う。
- ④改造時間の推計と時間短縮の検討を行う。
- ⑤遠隔操作型建設機械の調達手順の検討を行う。

4. 改造対象機械の選定

建設機械は、機種・規格毎に制御方式や機器仕

様が異なるため、単一の方法では改造を行うことはできない。これまでにメーカーが行った改造方法も、機種・規格により固有の改造方法が存在する。また、短時間での改造に適さない機種・規格もあり、すべてを遠隔操作型へ改造可能な機械とすることは困難である。そこで、これまでの遠隔操作型建設機械の使用実績や要求頻度、および国内の汎用型建設機械の保有台数を総合的に勘案して、改造対象とする機種・規格を限定する必要がある。

表-2に示す平成9年度に発生した土砂災害で使用された実績のある遠隔操作型建設機械、および災害復旧時に要求される建設機械の機種・規格の要求頻度について検討した結果、遠隔操作型への改造対象とする機械を、油圧式バックホウ(0.8m³, 1.4m³)、ブルドーザ(19t)、クローラダンプ(11t)の3機種4規格に設定した。

ここで、大型の機械は雲仙普賢岳等の大規模な復旧工事に使用される機械であり、このような場合においては遠隔操作専用機が用いられるため今回の対象から除外した。また、ブルドーザの19t級は使用事例がないが、要求頻度が高いため、今回の対象とした。

また、今回改造対象とした機種・規格はいずれ表-2 これまでの災害復旧工事で使用された遠隔操作型建設機械

機種	油圧式バックホウ						
規格(m ³)	0.8	1.4	1.5	1.8	3.2	4.0	5.7
使用台数	3	4	1	1	1	1	1
機種	ブルドーザ						
規格(t)	16	19	21	32	43	60	
使用台数	2		1	1	3	1	
機種	クローラダンプ						
規格(t)						11	
使用台数						2	

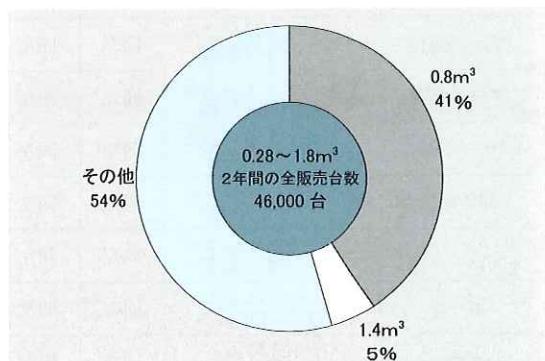


図-2 0.28m³ ~ 1.8m³ 級のバックホウの最近2ヶ年販売台数

も国内の保有台数が多く(図-2)、全国各地に普及している機械である。

以下、改造方法を検討した結果について油圧式バックホウを例に紹介する。

5. 汎用型建設機械の遠隔操作型への改造方法

5.1 遠隔操作型への改造時に必要な機器

4.で選定した1.4m³の油圧式バックホウにおける搭乗操作時の制御方式を表-3に示す。

表から汎用型の油圧式バックホウの制御方式は、各メーカーほぼ同様であり、制御機器の仕様に若干の違いがあるのみである。従って、遠隔操作型への改造においても、基本的には同一機器を使用しても対応可能であると考えられる。

このクラスの油圧式バックホウについては、ほとんどが搭乗操作時は操作レバーによりパイロットバルブを操作し、パイロットバルブにより発生する油圧によりメインバルブをコントロールし、バケット等の油圧シリンダ(以下、作業機という)を動作させる。

この方式については、パイロットバルブに代わりラジコン制御が可能な電磁比例パイロット弁を用いてメインバルブをコントロールすることにより遠隔操作が実現できる。

油圧式バックホウの遠隔操作型への概略的な

表-3 汎用型の油圧式バックホウの制御方式

機能	A社	B社	C社
エンジン起動	キースイッチによるスタータモータ起動	同左	同左
エンジン停止	専用制御回路によるガバナ位置調整	同左	—
エンジン回転数調整			
左走行操作	パイロット圧によるメインバルブ駆動	同左	同左
右走行操作	パイロット圧によるメインバルブ駆動	同左	同左
ブーム操作	パイロット圧によるメインバルブ駆動	同左	同左
アーム操作	パイロット圧によるメインバルブ駆動	同左	同左
バケット操作	パイロット圧によるメインバルブ駆動	同左	同左
上部旋回操作	パイロット圧によるメインバルブ駆動	同左	同左
オプション(ブレーカ等)	パイロット圧によるメインバルブ駆動	同左	同左
ホーン	スイッチによるON-OFF	同左	同左
ライト	スイッチによるON-OFF	同左	同左

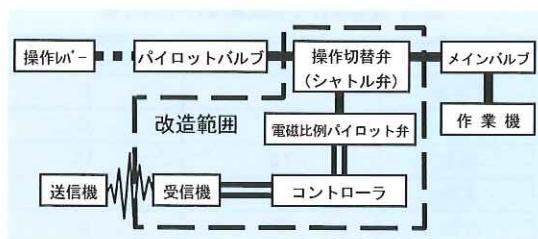


図-3 油圧パイロット方式の改造概念図

改造方法を図-3に示す。

以下、改造に必要な主な機器は次の通りである。

①送信機

通常の操作レバーによる搭乗運転に代わり、遠隔操作用の送信機から無線を使用して操作する。

②受信機

送信機から無線信号を受信し、電気信号に変換する。

③コントローラ

受信機からの信号を各制御機器への信号に変換し制御する。

④電磁比例パイロット弁

コントローラからの信号により各作業機を動作するためのメインバルブを動作する。

⑤操作切替弁(シャトル弁)

通常の搭乗操作時の油圧パイロットバルブからの油圧経路と遠隔操作時の電磁比例パイロット弁からの油圧経路とを切り替える。

5.2 改造機器の取付方法と各機器の共通化

図-4に遠隔操作型への改造時に取り付ける機器のメーカー毎の比較概要図を示す。図に示すように汎用型建設機械を遠隔操作型に改造する際に取り付ける機器の種類は、メーカーに関わらずほぼ同様の機器を取り付けている。また、表-4に油圧式バックホウの各メーカーの汎用型の制御方式と遠隔型改造時に必要な取付機器を示す。表からも必要な機器の種類および、数量がほぼ同じであることがわかる。これらの各機器は、現在メーカー毎に個別の規格であるため仕様に若干の違いがある。これらの機器の共通化を考えた場合、遠隔操作時の応答性に若干の障害はあるものの共通化が可能であると考えられる。以下、各機器毎に共通化を検討する。

①受信機

受信機については、送信機と一対で無線機器メーカーにより製作され、共通化の必要はないものと考える。

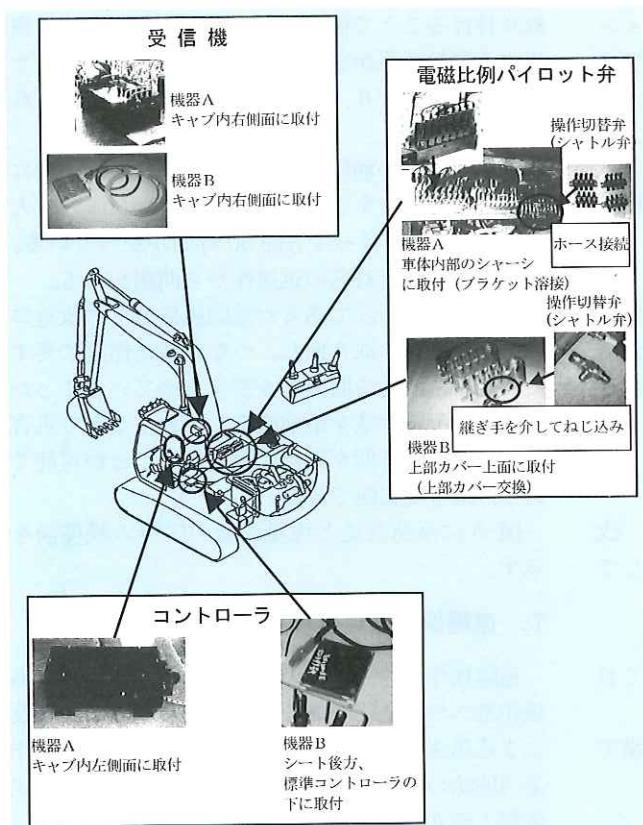


図-4 油圧式バックホウの改造比較概略図

表-4 遠隔操作型油圧式バックホウの制御方式・改造機種の比較

②コントローラ

コントローラは制御する機器の数によりハードウェアが、また機器仕様によりソフトウェアの仕様が決まってくる。

ハードウェアについては、表-4の通り各メーカーとも主要な機器は同じであり、制御する電流、電圧も同じであるため、制御数の最も多いメーカーに合わせた仕様とすることで共通化が可能と考えられる。

一方、ソフトウェアについては、各メーカーの開発システムが異なり、共通の開発システムを各メーカーが揃えることは困難である。また、操作性を考慮すると、各メーカーのメインバルブの油圧の流量や圧力等の応答性についても各メーカー個別の制御方法が望ましい。したがって、ソフトウェアについては、各メーカー個別の開発によるものとし、機体によってソフトウェアを差し替えることで対応する。

③電磁比例パイロット弁

電磁比例パイロット弁の仕様は、制御する作業機を操作するメインバルブの数とメインバルブの油圧圧力、流量により決定する。

機能	A社		B社		C社	
	通常操作	追加機器	通常操作	追加機器	通常操作	追加機器
エンジン起動	キースイッチによる スタータモータ起動	電磁リレー(1)	同左	同左	同左	同左
エンジン停止	専用制御回路による					
エンジン回転 数調整	ガバナ位置調整	電圧信号(1)	同左	同左	—	—
左走行操作	パイロット圧による メインバルブ駆動	電磁比例パイロット弁(2) 操作切替弁(2)	同左	同左	同左	同左
右走行操作	パイロット圧による メインバルブ駆動	電磁比例パイロット弁(2) 操作切替弁(2)	同左	同左	同左	同左
ブーム操作	パイロット圧による メインバルブ駆動	電磁比例パイロット弁(2) 操作切替弁(2)	同左	同左	同左	同左
アーム操作	パイロット圧による メインバルブ駆動	電磁比例パイロット弁(2) 操作切替弁(2)	同左	同左	同左	同左
パケット操作	パイロット圧による メインバルブ駆動	電磁比例パイロット弁(2) 操作切替弁(2)	同左	同左	同左	同左
上部旋回操作	パイロット圧による メインバルブ駆動	電磁比例パイロット弁(2) 操作切替弁(2)	同左	同左	同左	同左
オプション (ブレーカ等)	パイロット圧による メインバルブ駆動	電磁比例パイロット弁(2) 操作切替弁(2)	同左	同左	同左	同左
	パイロット圧による メインバルブ駆動	電磁比例パイロット弁(2) 操作切替弁(2)	同左	同左	同左	同左
ホーン	スイッチによる ON-OFF	電磁リレー(1)	同左	同左	同左	同左
ライト	スイッチによる ON-OFF	電磁リレー(1)	同左	同左	同左	同左

※ ()内の数字は、必要な数量

作業機の数はブレーカー装着用等のオプションを含め各メーカー共に8機であり、メインバルブの数は作業機毎に各2系統であるため16個である。

電磁比例パイロット弁の共通化のためには、メインバルブへの入出力数を16系統とし、出力圧力および流量はメーカー間での最大値を共通仕様とできる。

④操作切替弁(シャトル弁)

操作切替弁の仕様は、電磁比例パイロット弁の油圧の圧力、流量および配管の口径と接続型式により決定される。したがってこれらを共通化することで操作切替弁の共通化は可能である。

6. 事前改造方法の検討

被災地で迅速に機械を使用可能にするため、改造時間の短縮について検討した。改造方法としては、次に示す3つの方法が考えられる。

- ①事前に改造に必要な機器を全て取り付ける。
- ②事前に改造に必要な機器の一部を取り付けておき、災害現場で残りの機器を取り付ける。
- ③事前に改造を行わず、全ての機器を災害現場で取り付ける。

以下に、油圧式バックホウについて検討を行った。
①の全ての機器を事前に改造を行う方法は、現場改造時間の短縮につながるが、これら遠隔操作に必要な機器は通常の工事では使用しないため普段は必要のない機器である。このため、事前に

取り付けることで価格が上がり、災害復旧時に使用する際故障等がないように日頃からのメンテナンスも必要となり、普及は困難であると考えられ現実的でない。

③の汎用型の油圧式バックホウを遠隔操作型に災害現場で改造する場合、現状では約60時間/人であり、2人で行っても約30時間かかっている。このため、災害対応の迅速性から問題がある。

一方、②の方法であるが遠隔操作型への改造には、配管配線の取り回し、つなぎ替え作業に要する時間が全改造時間の約6割を占めていることから、配管配線作業を事前改造しておくことで災害復旧時の改造時間を大幅に短縮することが可能であり、最も現実的である。

図-5に事前改造と現場改造の区分の概要図を示す。

7. 遠隔操作型建設機械の調達体制の提案

遠隔操作型建設機械の台数の増加、さらに遠隔操作型への改造が可能な建設機械の全国への普及による迅速な調達に加え、より迅速な災害復旧作業の開始のためには、遠隔操作型建設機械の調達体制の確立が必要である。

図-6に現在の遠隔操作型建設機械の調達手順を示す。現在、土砂災害の発生後、災害復旧の緊急性、二次災害の発生の危険性等を考慮し遠隔操作型建設機械の投入が決定すると、全国の建設機械

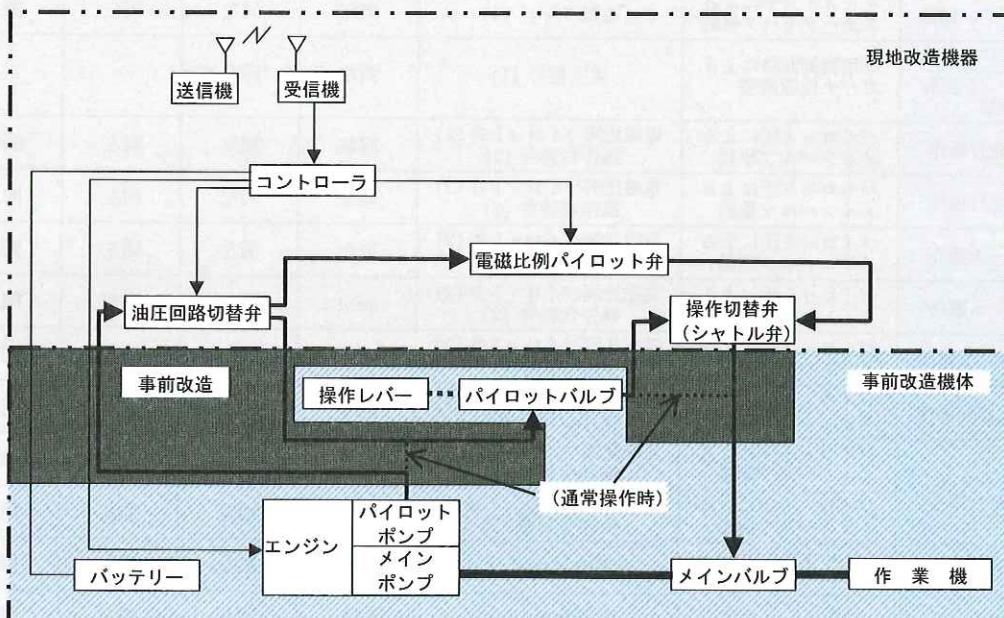


図-5 遠隔操作型油圧式バックホウの機器構成概念図

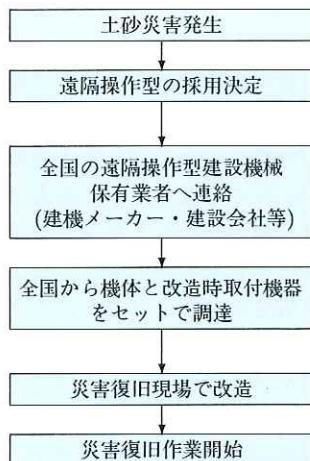


図-6 現在の遠隔操作型建設機械の調達体制

メーカー、建設会社、リース会社等に連絡し、遠隔操作型建設機械と改造時に取り付ける機器をセットで調達している。調達された建設機械は、災害復旧現場において改造が行われ現場に投入されている。

一方、図-7に事前改造を行った遠隔操作型建設機械の調達体制案を示す。この場合は、遠隔操作型の採用が決定すると、予め登録された遠隔操作型への事前改造済みの汎用型建設機械を所有している建設機械メーカー、建設会社、リース会社、維持業者等のうち災害現場に最も近い所有業者へ機体調達の連絡を行う。連絡を受けた機械所有者は直ちに災害復旧現場へ機械を輸送する。一方、災害復旧現場で遠隔操作型への改造時に取り付ける機器は、建設省工事事務所等の復旧工事発注者で事前に所有しておき災害現場へ輸送する。それこれから調達された事前改造済み機体と改造時取付機器は災害復旧現場で改造が行われ現場に投入される。この場合、

- ①遠隔操作型への改造が可能な機械の所有者が事前に登録されているため、調達が容易である。
- ②遠隔操作型への改造が可能な機械が全国各地に

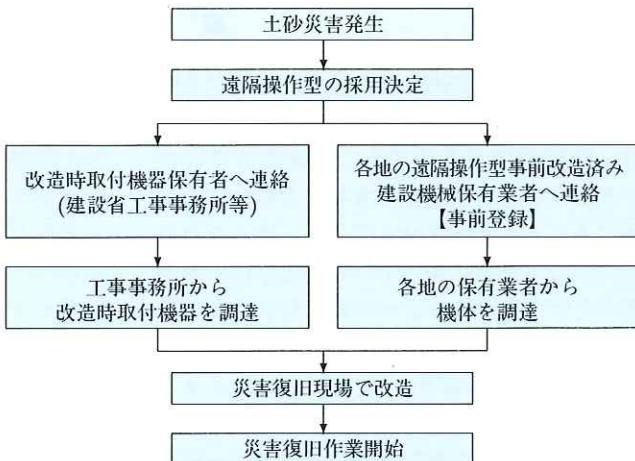


図-7 事前改造を行った遠隔操作型建設機械の調達体制

あるため、輸送時間が短縮される。

- ③事前改造が行ってあるため、現場での改造時間が短縮される。

といった理由から、災害復旧工事の早急な作業対応が可能となる。

8. まとめ

本報文では、汎用型建設機械を遠隔操作型に改造する技術を開発し、遠隔操作型建設機械の迅速な調達の検討を行った。また、遠隔操作に必要な改造の一部を事前に施した汎用機を全国各地へ普及することにより、災害復旧時の調達時間、現場での改造時間を短縮する提案を行った。

さらに、遠隔操作型建設機械を使用した災害復旧工事のより迅速な対応のためには、遠隔操作型建設機械の調達体制を整備する必要があることを述べた。

今後、災害復旧作業の迅速化のために、GPS技術等を利用した施工支援技術の開発、高分解能衛星データの利用等の幅広い検討が必要である。

最後に、本調査にご協力下さったメーカーや災害復旧工事現場の方々に深く感謝申し上げる。

江原正隆*



建設省土木研究所材料施工部
機械研究室研究員
Masataka EBARA

新田恭士**



同 機械研究室研究員
Yasushi NITTA

江木 平***



同 機械研究室長
Taira EMOTO