

製品紹介

地雷除去機 “D85MS-15” の開発
Development of D85MS-15 Demining Dozer

伊 吹 敏 夫
Toshio Ibuki
山 本 茂
Shigeru Yamamoto
柳 樂 篤 司
Atsushi Nagira
中 上 博 司
Hiroshi Nakagami

世界中に1億個以上も放置された対人地雷。毎年多くの市民や除去作業員が被害を被っている。2002年8月には、対人地雷除去機は軍用車両の扱いから除外された。また翌年の2003年には人道支援のための対人地雷除去機の開発を日本政府の援助で我々も着手した。ベースマシンはD85EX-15とし、モデル名はD85MS-15とした。地雷除去機に要求される項目は、いくつかあるがその中で最も重要なのは、①作業速度②除去の確実性および③耐久性である。D85MS-15は、これらの項目を達成したので報告する。

More than one hundred million landmines are reported buried all over the world. The buried landmines are injuring many civilians and deminers every year. In August 2002, the antipersonnel demining dozer was removed from the list of military vehicles. In 2003, KOMATSU started the development of antipersonnel demining dozer for humanitarian aid with support provided by the Japanese government. The base machine was designated D85EX-15 and the machine was named “Model D85MS-15.” The most important functions for the demining dozer are working speed, demining accuracy and durability. D85MS-15 has achieved all these functional requirements as reported in the following.

Key Words: 地雷除去機, D85MS-15, アフガニスタン, カンボジア, 人道支援

1. はじめに

本開発は人道支援を目的とし、経済産業省と(独)新エネルギー・産業技術開発機構の助成金で実施したものである。開発当初の対象国としたアフガニスタンでは優先的に除去する地域を決めており、農地・牧草地・道路が全体面積の95%を占める。開発する機材は、これらの地域で除去作業をすることを狙ったものである。

ベースマシンは、車体重量27トンのD85EX-15を選び、地雷除去機として必要な機能である、効率の良い地雷処理装置はCS210スタビライザーの技術を応用した。

また、専用のトランスミッション、掘削制御、防弾装置、遠隔操縦のためのラジコン装置、及び破片回収のためのバスケット装置を装着しており、コマツの全ての開発センターの技術を結集したと言っても過言ではない。以下、詳細を説明する(写真1)。



写真1 D85MS-15の外観図

2. 開発の目標

(1) 現状の解析

アフガニスタンは6カ国に囲まれた内陸国で、南部は砂漠、東部・中部・北部は山岳地帯となっており、国土

の約75%が山岳地帯で占められている。国土面積は65.2万km²（日本の約1.7倍）である。

上記の国土をエリア別に分類しターゲットを絞り込んだ。（図1）

・優先的に除去するエリアの作業現場分類と適合機材



図1 ターゲットの絞り込み

(2) 目標の設定と達成手段

迅速な作業能力と高い安全性が要求され、目標を表1のように設定した。

表1 目標&達成手段

	要求&目標	達成手段
作業能力	・ 広所を狙いとし人力の約20倍の処理速度	◇広幅破碎構造 ◇低速トランスミッション
	・ 農地は一般的に20cm耕されるので、処理深さ20cm以上	◇ロータ形状
	・ 不整地での作業が可能	・ 従来建機（ブルドーザ）の活用
	・ 山岳地帯（急勾配）での作業が可能	・ 従来建機（ブルドーザ）の活用
安全性	・ 操作員および機材を保護する構造	◇防弾装置
	・ 安全に操作するための遠隔操作が可能	◇ラジコン装置
	・ 破片の回収ができること	◇バスケット装置
その他	・ 除去処理後はインフラ整備に活用できる構造とする	◇低速トランスミッション
	・ 自然環境に適合する車両構造とする	◇砂塵地対応トラクター
	・ 価格を抑えより多くの現場で活用できる構造とする	

3. 達成手段

3.1 作業能力

(1) ベースマシンの選定

前ページの要求項目の不整地・急勾配の作業を考慮すると共に、「企業同士で競争するのではなく、日本として地雷除去のシステムを作ることが重要」のコマツ方針に従い、他社にないブルドーザをベースとした。

機種を選定において処理能力は人力の約 20 倍を目標とし、人力による処理能力は時間当たり約 20 m²、単純計算 400 m²が目標となる。

地雷処理装置（ロータ）はスタビライザー（道路補修機）が先行して開発を進めていた装置を流用するため、処理幅内を走行可能な機種およびロータを回転させ処理するパワーが必要である。その両方を満足する機種として、D85EX-15 を選定した（写真 2）。



写真 2 D85EX-15

ブルドーザはブレードを上下して負荷をコントロール



図 2 通常のブルドーザのコントロール

地雷除去機は 1 度で処理した跡地を戻すしか方法がなく、切削深さの変更ができないため超低速のトランスミッションの開発が必要となった。

ロータ幅 2550 mm の処理速度は 0.1~0.5 km/h の経験値（スタビライザー）と、人力の約 20 倍以上 400 m²/h の目標から F 1 車速(地雷処理速度段)を 0.4 km/h に設定した。

算出の根拠

- ・ 目標の 400 m²/h 以上に余裕を見て 500 m²/h とした。
- ・ 地雷除去方法は処理後必ず戻す必要があるので効率を約 50% とした。

$$\text{処理面積} : 500 \text{ m}^2/\text{h} \div 50\% = 1000 \text{ m}^2/\text{h}$$

$$\text{車速 (km/h)} = \frac{\text{時間当たり処理面積 } 1000 \text{ (m}^2/\text{h)}}{\text{ロータ幅 } 2.55 \text{ (m)}} = 0.4 \text{ km/h}$$

(2) 低速トランスミッション

通常のブルドーザの作業中の変速は

- ・ 速度段を固定して、ブレードのコントロールで最適速度を維持する作業方法
 - ・ オートシフトダウン機能を使用して、高負荷時に自動でシフトダウンし、なおかつ高負荷時にブレードのコントロールで最適速度を維持する作業方法
- いずれも最終的にはブレードを上下して負荷をコントロールしている（図 2）。

表 2 減速比 & 車速比較

	地雷除去機		標準車	
	減速比	車速(km・h)	減速比	車速(km・h)
前進1速	10.607	0.4	1.727	3.3
前進2速	0.832	5.1	0.991	6.1
前進3速			0.575	10.1
後進1速	7.875	0.52	1.282	4.4
後進2速	0.618	6.8	0.736	8.0
後進3速			0.426	13.0
ベベル	2.105	---	1.522	---

(3) 掘削制御

地雷除去のロータによる掘削は低速トランスミッションでも土質により掘削不可能な状況になる，そこでトランスミッションとロータを自動制御し，除去深さ 30 cm の

確実な除去作業を実現した。

①システム構成

図 3 に制御システム構成図を示す．各 ECU は CAN で接続され，情報および指令はこれを介して伝達される．

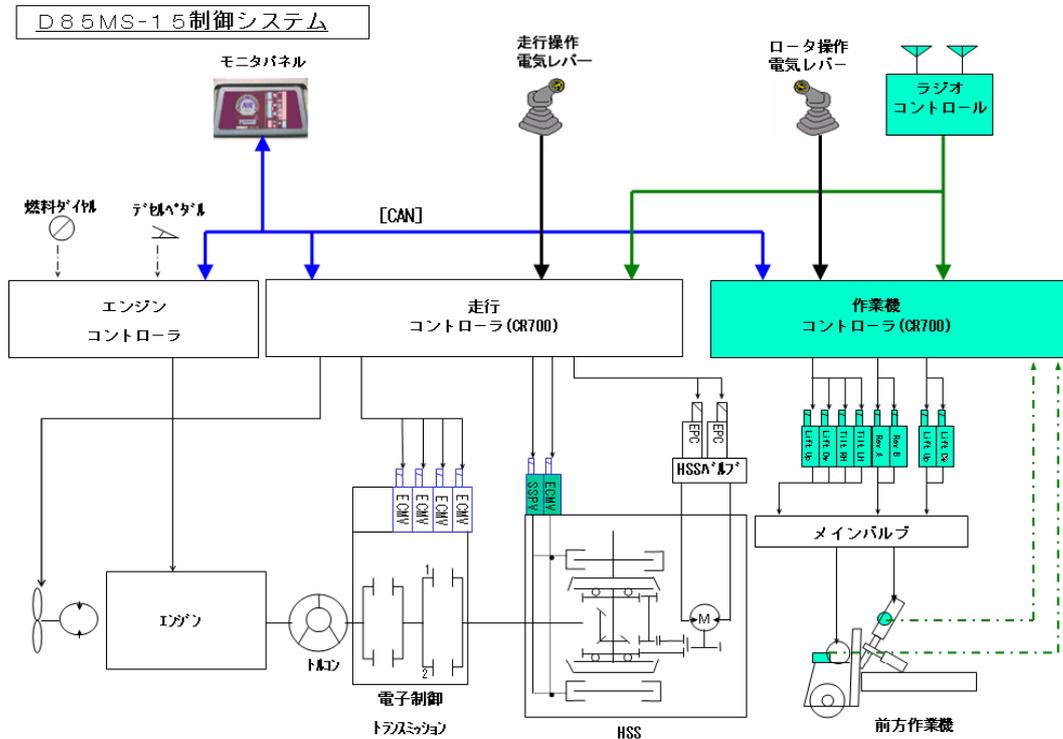


図 3 制御システム構成

②変速制御

地雷除去機は掘削深さが決定されているため，掘削不可能な場合は車両を停止する必要がある (図 4)。

表 3 ニュートラル制御

ロータ回転	動作
200 rpm 以下	T/Mニュートラル，ブレーキ ON
250 rpm 以上	F1再スタート

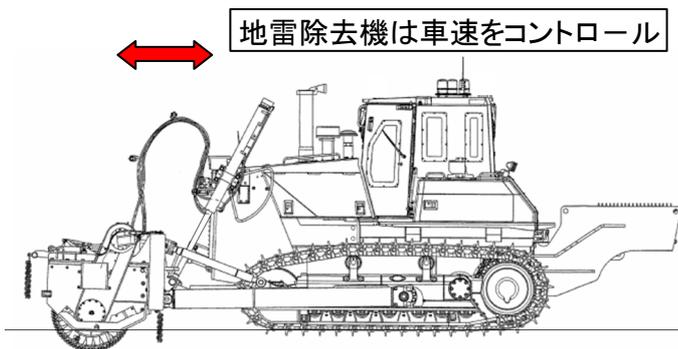


図 4 地雷除去機のコントロール

③負荷制御

上記の制御で回転の回復がない場合，オペレータがロータを上下させ負荷を取り除く作業が必要となる．更に除去作業の確実性を向上すると共に，オペレータの操作性の容易化を図るためにロータの負荷制御を採用した．ロータレバーに装着のスイッチ (写真 3) を ON すれば，負荷制御を開始する．

負荷制御スイッチ

写真 3 負荷制御スイッチ



ニュートラル制御条件

表 3 の制御を行い確実に地雷を除去する．

負荷制御条件

ロータリフトシリンダに装着した角度センサ（図5）によりロータの位置を把握し、表4の制御で確実な除去作業を実現した。

表4 負荷制御

ニュートラル制御後の動作

ロータ回転	動作
50 rpm 以下	ロータ上げ
50 rpm 以上	ロータ上げを停止
50~250 rpm	ロータ位置保持
250 rpm 以上	ロータ下げ
下げ完了	1秒後F1再スタート

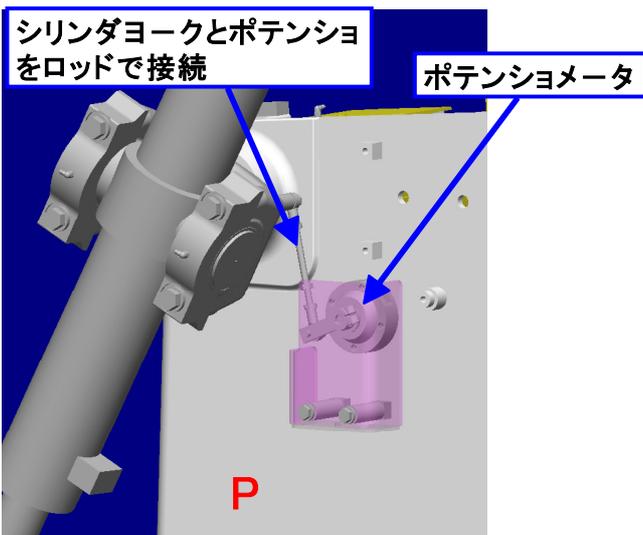
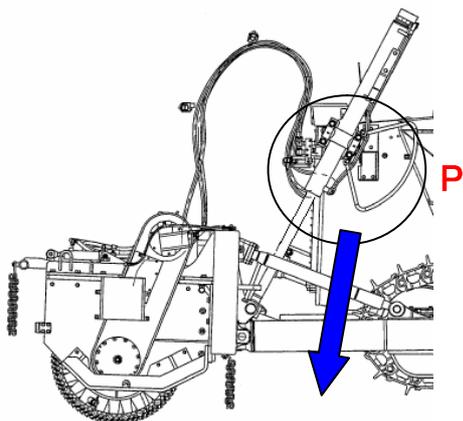


図5 ロータ位置センサ(車両左右に装着)

(4) 広幅破碎装置

作業能力を上げるためにロータの改良を実施し掘削効率を約50%アップした。

実施内容

①ロータビット数の低減（図6）

掘削抵抗はビットの本数と比例する。ビットの本数を206→142に低減し31%の掘削抵抗を改善した。また1秒間の貫入本数の低減は掘削抵抗低減によるロータの回転数アップで補う。

現状	改良
1) 周上10枚ビット, ピッチ25 2) ビットホルダ数 206	1) 周上6枚ビット, ピッチ35 2) ビットホルダ数 142

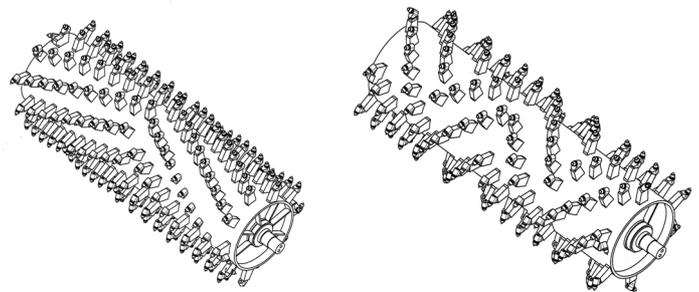


図6 ビット数の低減

掘削抵抗低減率（ビット数比）

$$100 - (142/206) \times 100 = \Delta 31\%$$

②ロータビット配列をΛ→M型に変更（図7）

地雷処理において処理後の土砂をロータ幅の外側に排出することは危険であるため、ビットの配列はΛ型の配列を採用していた。処理後に排出された土砂がロータの中央に集積され掘削の抵抗となった。処理後の土砂をロータ幅内で平均に排出するM型を採用し掘削抵抗を低減した。

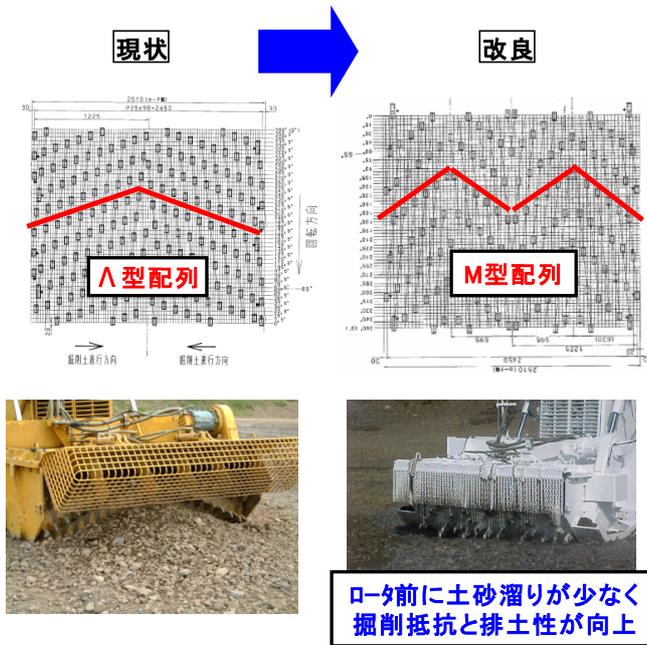


図7 ビット配列変更

③試験結果

・掘削深さ 30 cm 作業量試験（表5）

表5 作業量試験結果

土質	単位		作業量	比
礫混じり砂質土	m ² /h	現状	467	1.0
		改良	770	1.65
砂地	m ² /h	現状	1043	1.0
		改良	1043	1.0

結果：65%の改善を達成

・破壊試験

深さ別に模擬地雷の破損状況の確認（写真4）

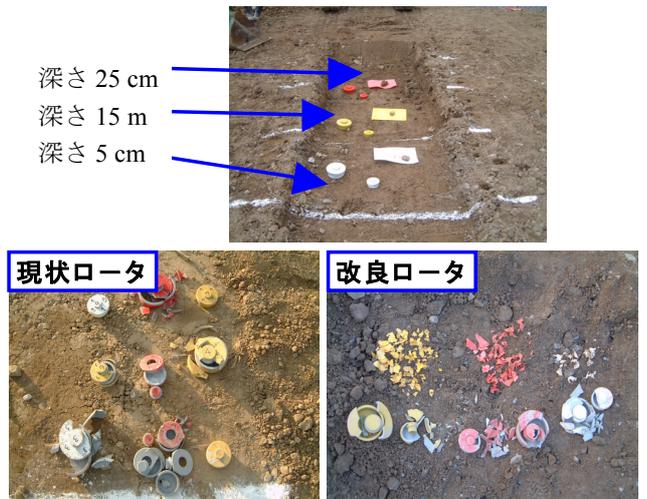


写真4 破損状態

結果：改良ロータの方が細かく破損している

3.2 安全性

(1) 防弾装置

D85MS-15 はオペレータの搭乗とラジコンによる両方の操作を可能とした。搭乗時のオペレータ保護のために、防弾仕様キャブの開発。また本体の近くで地雷が爆発した場合に機器を保護する、防弾カバーを装着した。

①キャブ（図8）

・外壁は全て高張力鋼

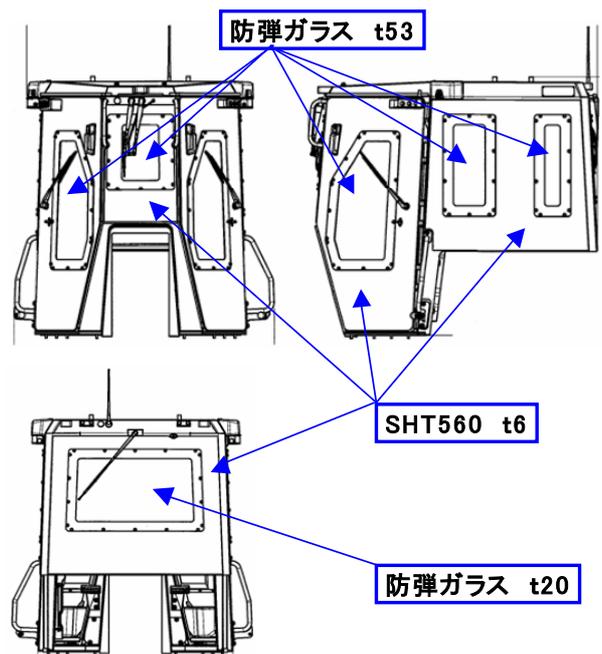


図8 防弾キャブ

- ・窓ガラスは防弾ガラス（レックガード RS-1250）を採用
前窓・ドア窓・横窓：t33+t20=t53
後窓：t20

②本体保護

- ・エンジンサイドカバーは密閉とし高張力鋼を採用（図9）
- ・燃料および作動油タンクに高張力鋼カバー追加（図10）

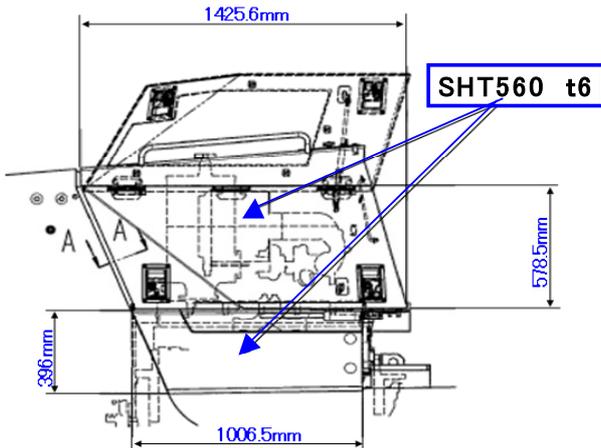


図9 エンジン保護サイドカバー

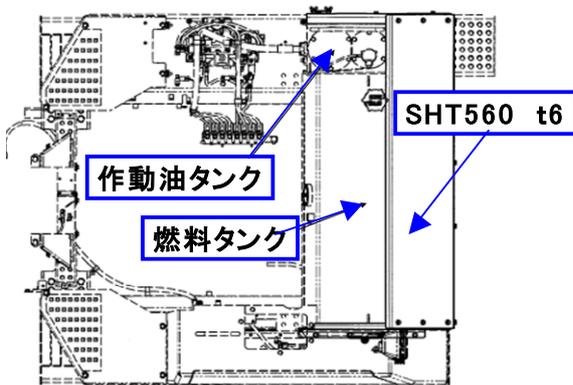


図10 燃料タンク・作動油タンク保護カバー（上面図）

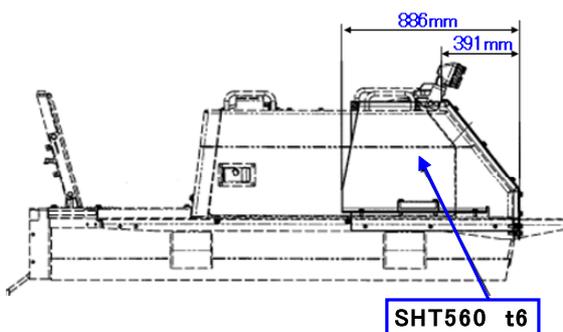


図10 燃料タンク保護カバー（左側面図）

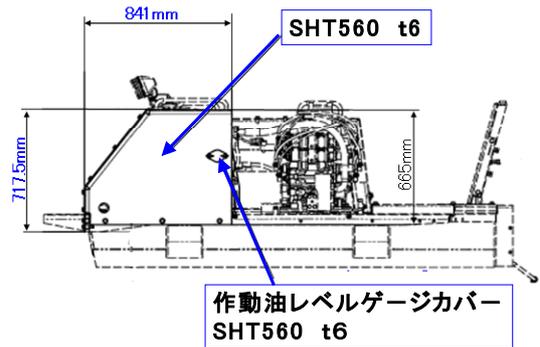


図10 作動油タンク保護カバー（右側面図）

(2) ラジコン装置

ラジコンによる遠隔操作を可能にし、安全な除去作業を実現した。実施にあたって、全ての機器を電子化しシステム構成図に示す通りラジオコントロールシステムからの指令をコントローラに伝え、各機器を駆動するシステムとした。

- ・作業機コントロールの電子化（図11）

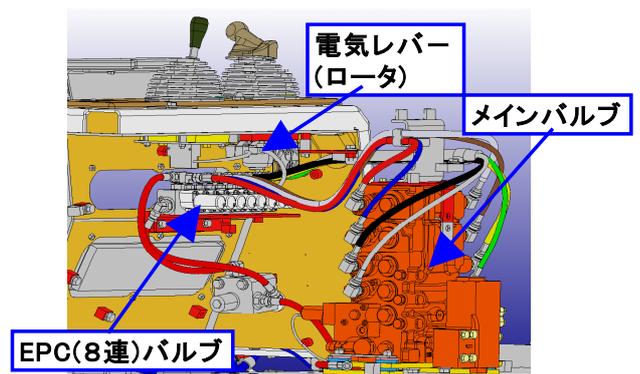


図11 作業機コントロール電子化

- ・ブレーキコントロールの電子化（図12）

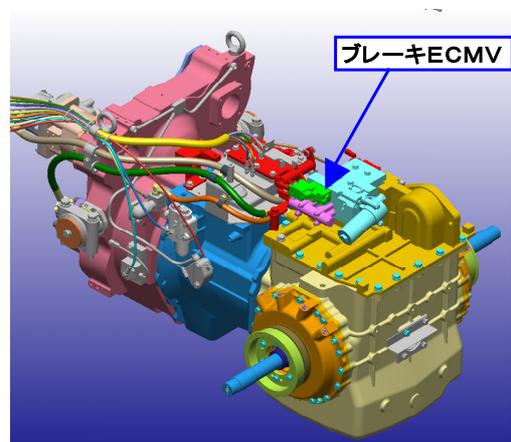


図12 ブレーキコントロールの電子化

(3) 前方ガード装置

ロータ前方は除去作業時に掘削した石および地雷の破片等が飛び出す可能性がある。

また想定外ではあるが、処理出来ずに飛び出してきた地雷をロータ前方で捕獲し再処理をすることで安全性を高めた。

- ・広所乾燥地に適したバスケットタイプ (図 13)

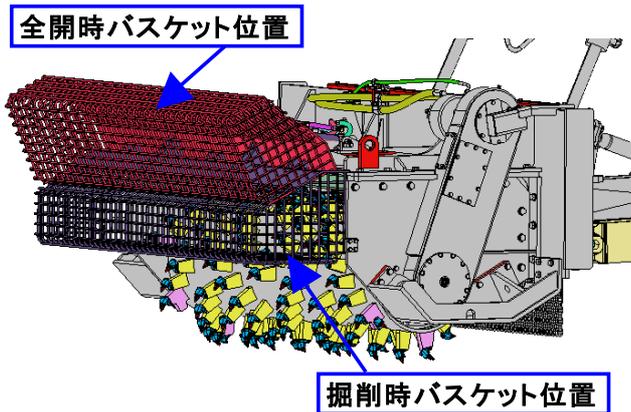


図 13 バスケットタイプ

- ・狭所湿地に適したチェーンタイプ (図 14)

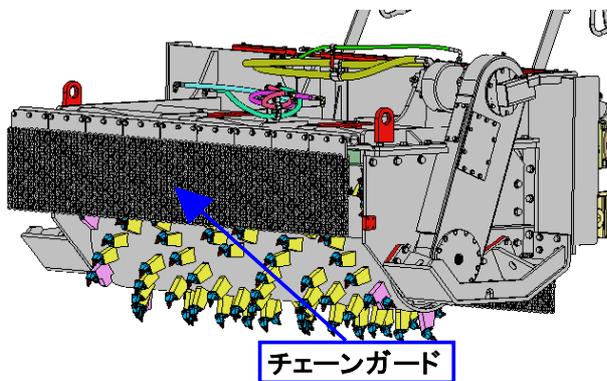


図 14 チェーンタイプ

3.3 その他

(1) ロータフリーバルブ

ロータの爪の先端には地雷を破壊するためにビット (写真 5) が装着されている。ビットは消耗部品であり交換する必要がある。フリーバルブ (図 15) を使用しモータの A ポートと B ポートをとつなぎロータの回転をフリーにすることでビットの交換が容易になった。



写真 5 ビット

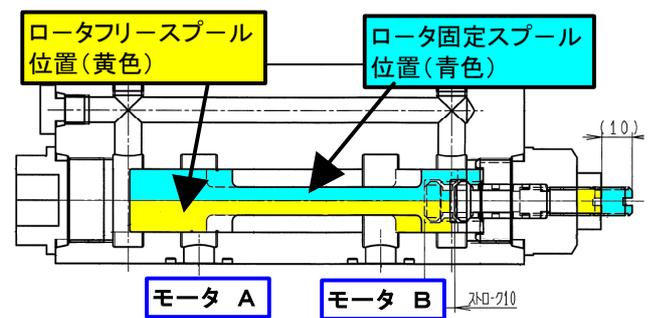
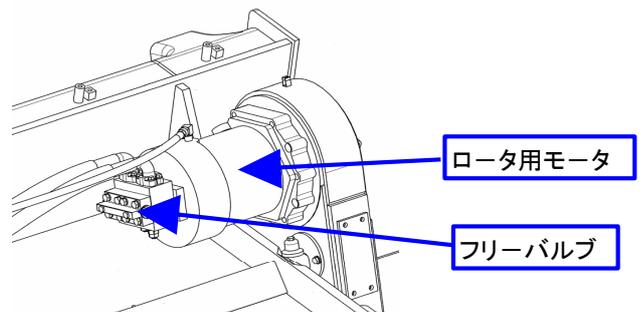


図 15 ロータフリーバルブ

(2) インフラ整備の活用

地雷処理後アタッチメントを交換することで通常のブルドーザとして、インフラ整備に転用ができる (図 16)。

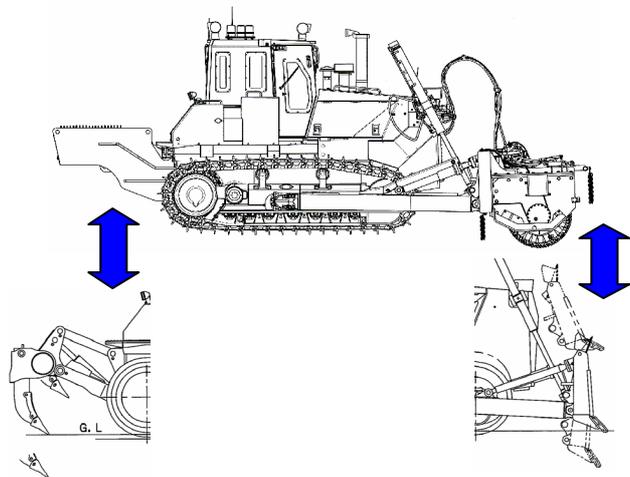


図 16 ブルドーザへの転用

②試験結果

- ・シューボルトせん断, シュープレート 1 枚脱落 (写真 6).
- ・ビット先端 1 本欠損, 2 本抜け落ち (写真 7).
- ・作業機油圧シリンダ発生油圧: 最大 188 kg/cm²
- ・オペキャブ内に発生内圧: 最大 175 mmAq



写真 6 シュー脱落・ボルト折損



写真 7 ビット欠損・抜け落ち

4. 対爆試験

4.1 国内試験結果

①防衛庁技術研究本部 下北試験場にて実施

- ・下記 3 条件 (図 17) を想定し定置 (走行しない) でテスト.
- ・C4 火薬 750 g (最大対人地雷相当) で実施.

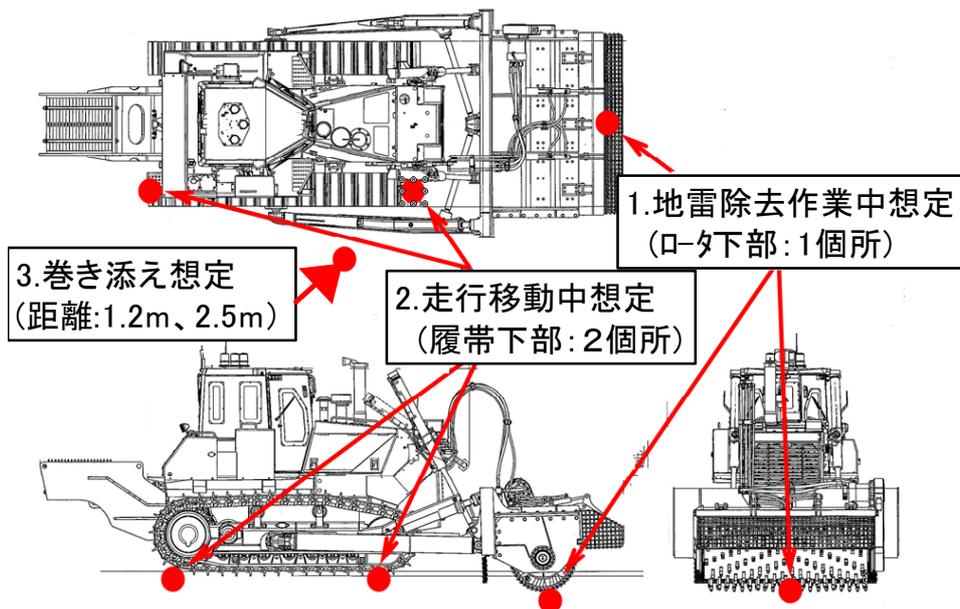


図 17 火薬位置

③評価結果（表6）

下記評価に加えその他部位の損傷なく問題なし

表6 評価結果

NO	評価部位	評価内容	判定
1	シューボルト折損	地雷原からの脱出が可能 現設計で問題なし	合 格
2	シュープレート脱落		
3	ビット欠損	このまま継続使用可能	
4	ビット抜け落ち	ビットホルダ部は残存し、 付け替えで対応可能	
5	シリンダ発生油圧	許容耐圧: 315kg/cm ² 以下	
6	キャブ内圧	20cmの潜水レベル 人体危害なし	



写真9 カンボジアの灌木地域での処理状況

4.2 アフガニスタン・カンボジア試験結果

2004年にアフガニスタンで、2006年カンボジアで現地実証テストを実施した。その結果実作業量は500 m²/h以上を両国で達成した。また山岳地帯の多いアフガニスタンでは約30度の急傾斜面（写真8）、カンボジアの灌木のある地域（写真9）での実用性も実証した。



写真8 アフガニスタンの急傾斜面での処理状況

5. おわりに

世界中に地雷は数億個存在する。地雷を除去することはその国の様々な発展に不可欠な要素である。

本機の性能は地雷除去活動の支援に大きく貢献できる事を確信すると共に、処理終了後のインフラ整備でも社会貢献できるものと期待する。

筆者紹介



Toshio Ibuki
いぶき としお
伊吹敏夫 1981年、コマツ入社。
 現在、開発本部 建機第一開発センタ
 所属。



Shigeru Yamamoto
やまもと しげる
山本茂 1983年、コマツ入社。
 現在、開発本部 建機第一開発センタ
 所属。



Atsushi Nagira
なぎら あつし
柳楽篤司 1990年、コマツ入社。
 現在、建機マーケティング本部 市場開発
 部所属。



Hiroshi Nakagami
なか がみ ひろし
中上博司 1973年、コマツ入社。
 現在、開発本部 建機第一開発センタ
 所属。

【筆者からのひと言】

2003年の政府案件の公募にはじまり、短期間の開発の中で自衛隊での耐爆試験・政府関係者との打ち合わせ、また新聞・テレビの取材対応の経験は、今後の仕事に活かせるものと思いません。

また人道支援という事で関係部門の方の温かい協力のもと、#2号機の製作に取り掛かることが出来ました。この誌面をお借りしまして、関係者の皆様に厚くお礼申し上げます。