

令和元年度  
戦略的基盤技術高度化・連携支援事業  
戦略的基盤技術高度化支援事業

「鉄道レールの溶接余盛（よもり）除去装置の開発」

研究開発成果等報告書

令和2年4月

担当局	東北経済産業局
補助事業者	大研工業株式会社

## 目 次

第一章 研究開発の概要	.....	3
1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標		
1-1-1 研究開発の背景		
1-1-2 研究開発の目的・目標		
1-2 研究体制	.....	6
1-3 成果概要		
1-4 当該研究開発の連絡窓口	.....	9
第二章 本 論	.....	10
【1】 レール削正用研削砥石の開発と製作		
【1-1】 砥石仕様と研削条件の開発		
【1-2】 砥石の最適形状と台金加工技術の開発	..	14
【2】 削正装置の機構と構造の設計と製作	.....	14
【2-1】 レール断面全周の削正が可能な機構の設計		
【2-2】 過研削防止機構の設計	.....	18
【2-3】 フレームの構造解析		
【2-4】 耐候性の設計	.....	19
【2-5】 作業安全性の設計		
【2-6】 可搬性の設計		
【2-7】 装置の製作		
【3】 模擬試験と実地試験	.....	20
【4】 特許出願・進捗管理	.....	21
最終章 全体総括	.....	22
(1) 研究開発成果		
(2) 研究開発後の課題		
(3) 事業展開	.....	23

## 第1章 研究開発の概要

### 1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

#### 1-1-1 研究開発の背景

新幹線や都市部の在来線では、騒音・振動の低減および列車の乗り心地向上の観点から、レールの継ぎ目を溶接により排除したロングレール軌道が一般的となっている。レールの溶接工程には、溶接部の余盛を除去し段差を平滑化する削正作業が付随する。この削正作業は、重量物であるハンドグラインダを用いて人力で行われており、車輪が接触するレールの頭部のみならず、腹部、底部を含むレールの全周に対して施工する必要がある。特に車輪と接触する頭頂部とコーナー部と頭側部は0.1mm単位の精度が要求され、教育を受けた熟練作業者が必要になっている。本作業中、発生する切り屑や研削音、溶接直後の高温レールから放出される輻射熱等により、作業者は劣悪な環境下での作業を強いられる。また、営業路線のレール交換作業は、夜間の非運行時間に進める必要があり、本作業の効率化が求められている。こうした状況下で削正作業の負担軽減と効率化を実現する装置の開発が求められている。

削正作業は溶接直後の高温（約 600℃）のレールに対して施工されるが、レールの特性変化の防止と環境負荷の低減のため、削正作業中、冷却水を使用することができない（乾式研削）。これは削正工具にとって極めて過酷な使用条件である。このため、高温のレールを効率的に除去可能な削正工具の開発も重要な課題である。

また、溶接作業に用いる装置類はレール上で使用する台車「軽便（けいべん）トロ」を用いて運搬する必要があるため、開発する装置は小型・軽量である必要がある。

そこで本事業では、削正作業の効率化と負担軽減を両立するコンパクトな削正装置「溶接余盛（よもり）除去装置」の開発を行う。

#### 1-1-2 研究開発の目的・目標

【1】レール削正用研削砥石の開発と製作

【1-1】砥石仕様と研削条件の開発

【1-1-1】レール研削現象のモニタリングシステムの構築

レールと同一材料の試験片と研削砥石（切削工具）とマシニングセンタと三軸キスラー動力計を準備し、加工中の加工抵抗値をリアルタイムで計測可能なシステムとし、加工条件の選定および研削焼けの発生の有無まで確認する。

### 【1-1-2】 レール研削面の残留応力測定手法の構築

レール研削面に発生する残留応力の確認は重要な課題と言える。そこで、新規に導入する「ポータブル型 X 線残留応力測定装置」を用いてレール研削面の残留応力を測定する手法を構築する。

### 【1-1-3】 レール研削実験の実施

レールから切り出した試験片を各種の工具と条件で加工実験を行ない、研削（切削）抵抗、加工面における焼けの発生状況、粗さ、及び残留応力、加工面における粗さ、および残留応力等のデータを収集する。

### 【1-1-4】 研削実験結果の解析

各種条件で加工実験を行った研削（切削）抵抗（荷重）や加工面における焼けの発生の有無、粗さ、残留応力等を比較検討し、レール削正に適する条件の選定を行う。

## 【1-2】 砥石の最適形状と台金加工技術の開発

### 【1-2-1】 砥石（切削工具）の最適形状の開発

砥石は従来の円盤型からカップ型へ変更し、コーナー部はR面取りを施し、少数の砥石でレール全周の削正を可能とする砥石を実現する。

### 【1-2-2】 砥石台金（切削工具）の精密加工技術の開発

3D-CAD で設計した溝付きカップ型砥石形状データに基づいて砥石の工具軌跡を制御する NC プログラムを作成して、5軸制御マシニングセンタで精密に台金を加工する技術を開発する。

## 【2】. 削正装置の機構と構造の設計と製作

### 【2-1】 レール断面全周の削正が可能な機構の設計

レール断面全周の削正を可能とする装置の設計が本開発における最大の技術的課題である。

砥石をレール輪郭上の各位置へ砥石を順次位置決めしながら研削し、結果としてレール断面全周を研削する機構を開発する。本方式に限定せず、複数の方式を検討し、【2-2】 から【2-5】 を満足する小型・軽量でありながら作業負荷を最大限に低減可能な機構を設計する。

### 【2-2】 過研削防止機構の設計

レール削正時の過研削は重大な問題となるため、ある一定の切込深さまで研削が

進行すると、スパークアウトの状態となって研削の終了段階を認識できるような機械的な方式を採用する。

#### 【2-3】 フレームの構造解析

レール削正の加工抵抗によって装置に力学的な負荷が作用する。この負荷によって装置が塑性変形することの無いよう、CAE による構造解析を行い、構造上の問題を事前に排除する。また、強度が過剰なフレームについては、より軽量な材質への置換や減肉化を行い、装置の軽量化も図る。

#### 【2-4】 耐候性の設計

装置は屋外で使用されるため、温度の変化や降雨や降雪に耐える耐水性を確保する。検証としてこれらの環境テストを実施する。

#### 【2-5】 作業安全性の設計

レール研削中時に大量の火花（切屑）が飛散する。安全性確保のため、砥石周囲には砥石カバーを配置し、装置が予期せぬ挙動を示した際には直ちに装置を停止可能な非常停止ボタンを配置する。

#### 【2-6】 可搬性の設計

装置は新幹線の場合の保守用階段を用いて高架軌道へ運搬する場合もあり、少ない人数でできれば2名での運搬を可能とする小型・軽量の装置が必要で、装置各部の部材としてアルミニウム合金等の軽量な材料を使用すると共に、運搬時に複数のユニットへ分割可能な構造を採用する。なお、材料や形状の軽量化については、【2-3】で記述した「フレームの構造解析」と連携し構造上の安全性を確認しながら進める。

#### 【2-7】 装置の製作

【2-2】から【2-5】を満足する【2-1】の設計図面に従い、大研工業（株）が主体となって製造・組立・調整を行う。

#### 【3】 模擬試験と実地試験

開発装置は、前工程の溶接・押抜きに続いて高温状態で確認加工する必要がある。溶接業者または保線業者の訓練施設において、レール削正の模擬試験を行う。内、条件的に許せばレール交換現場での実地試験も行いたい。

#### 【4】 特許出願・進捗管理

先行特許を調査の上で特許出願を1件行う。

## 1-2 研究体制

研究管理機関	(株) インテリジェント・コスモス研究機構 (2017,2018 年度)	
	大研工業株式会社 (2019年度)	
研究機関	大研工業株式会社	
	宮城県産業技術総合センター	
研究者	大研工業株式会社	今野 啓輝
		結城 知規
		菅原 勝幸
		小松 良知
		今井 慎
	宮城県産業技術総合センター	家口 心
		渡邊 洋一
		久田 哲弥
		吉川 穰
協力者	東経連ビジネスセンター	森 由喜男
	株式会社 全溶	井上 哲生
		辰巳 光正
		上村 孝志
	株式会社ノリタケカンパニーリミテド	須賀 久隆

## 1-3 成果概要

### 【1】 レール削正用研削砥石の開発と製作

#### 【1-1】 砥石仕様と研削条件の開発

##### 【1-1-1】 レール研削現象のモニタリングシステムの構築

マシニングセンタに多成分動力計を搭載し、加工中の抵抗値（荷重）をリアルタイムで計測可能なシステムを構築した。

##### 【1-1-2】 レール研削面の残留応力測定手法の構築

「ポータブル型X線残留応力測定装置」を使用し、加工面における残留応力値を測定する手法を構築した。また、導入した「電解研磨装置」を用い、加工面から深

さ方向における残留応力の分布を測定する手法を確立した。

#### 【1-1-3】 レール研削実験の実施

実際の 60kg レールから切り出した試験片を各種の工具と条件で実験を行ない、焼けの発生状況、研削（切削）抵抗、加工面における粗さと残留応力の測定を行った。

#### 【1-1-4】 研削実験結果の解析

【1-1-3】 で取得した実験データに基づいて評価項目毎に比較検討し、レール削正に適する工具と加工条件の選定を行った。

#### 【1-2】 砥石の最適形状と合金加工技術の開発

##### 【1-2-1】 砥石（切削工具）の最適形状の開発

60kg レールの CAD データに基づき、工具の正面と側面を駆使してレールの全周を効率的に削正可能な、研削砥石とフライスカッターの形状を開発した。特に研削砥石については切り屑の排出効率の向上や冷却効果が期待できる溝付きの仕様と溝の無い仕様の二種類を開発した。しかし、【3】の模擬試験の結果、粗加工用工具として正面フライスカッター、仕上げ加工用工具としてオフセット砥石が適することが判明し、両工具共に市販品で代用可能であると判断した。

##### 【1-2-2】 砥石合金（切削工具）の精密加工技術の開発

【1-2-1】 で開発した、研削砥石（溝付・溝無）の合金とフライスカッターのホルダについて、マシニングセンタを活用して高精度に加工する技術を開発した。

#### 【2】 削正装置の機構と構造の設計と製作

##### 【2-1】 レール断面全周の削正が可能な機構の設計

当初、粗加工から仕上げ加工までを一台で完結する装置の開発を予定していたが、主に加工時間の観点から、切削加工による粗加工機と研削加工による仕上げ加工機の二台で目的を達成することとした。レールの底面は前工程の押抜き加工に任せ、底面以外の大部分の余盛を除去する粗加工機と、頭頂面と頭側面のみを精密に仕上げる仕上げ加工機を完成させた。

粗加工機は、分割して運搬が可能であるが 135kg と重い上、操作性も不十分であり、完成度の高い装置の実現には至らなかった。

仕上げ加工機は 73kg と比較的軽量であり、操作性についても溶接業者の熟練技能者からも高評価が得られる水準にある。補完研究で細部の修正を行うことにより、

実用化に耐える装置を実現する見込みである。

#### 【2-2】 過研削防止機構の設計

ダイヤル式ハンドルに加えて、スライドロック機構を設けて異常切込みを防止した。

#### 【2-3】 フレームの構造解析

装置の3Dデータを簡略化したモデルを使用し、静的構造解析により静的荷重が負荷された場合のフレームの信頼性を確認した。さらに、モーダル解析により振動し易い固有値や振動形態、周波数応答解析により振動現象を含むフレームの信頼性を確認するなど、加工機の設計に有用な知見を提供した。

#### 【2-4】 耐候性の設計

粗加工機、仕上げ加工機ともに散水試験（IPX4 相当）と温度サイクル試験（-15～40℃、3 サイクル）を実施し、満足することを確認した。

#### 【2-5】 作業安全性の設計

粗加工機・仕上げ加工機とも非常停止ボタンを装備すると共に、研削加工を行う仕上げ加工機には砥石カバーを具備した。また、両加工機共にリスクアセスメントを実施し、総合的な安全性の確認を行った。

#### 【2-6】 可搬性の設計

##### 粗加工機

昨年製作した粗仕上げ機が 170kg で 6 人搬送に対し、今年作成した粗加工機は 135kg で 4 人搬送と軽量化を図ることができた。3 ユニットへの分割が可能になっているが工具を使っでの分解・組立が必要である。

##### 仕上げ加工機

総重量 73kg であり 2 名で運搬可能である。実用機では 65kg 程度まで軽量化する見込みである。

#### 【2-7】 装置の製作

大研工業（株）が主体となり製造・組立・調整を行った。

#### 【3】 模擬試験と実地試験

開発装置は、特に仕上げ加工機について、溶接業者の訓練施設において、レーン削正の模擬試験を実施した。熟練作業員より、経験が少ない作業員でも精度内に収めることができる上、労力の軽減が図れる装置であるとの高い評価を頂いた。



粗加工機については、装置重量と作業性において課題を残している。

【4】特許出願・進捗管理

仕上げ加工機の構造で 1 件の特許出願を実施。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

大研工業株式会社 〒989-6213 宮城県大崎市古川保柳字北田 38-1

専務取締役 今野 啓輝（コンノ ヨシテル）

TEL：0229-226-2333 FAX：0229-26-2335

E-mail：y.konno@pro-daiken.com

## 第2章 本論

### 【1】 レール削正用研削砥石の開発と製作

#### 【1-1】 砥石仕様と研削条件の開発

##### 【1-1-1】 レール研削現象のモニタリングシステムの構築

マシニングセンタ（MB-56VB、オークマ）に多成分動力計（9257B、日本キスラー）を搭載し、その動力計上に 60 kg 普通レールからワイヤ放電加工により切り出した試験片を配置した。試験片の寸法は長さ 150mm、幅 10mm、高さ 40mm とし、5 枚を並列に並べて固定した。本試験片は応力除去を目的として実験前に焼鈍（530℃、1 時間）を行った。以上により、加工中の研削・切削抵抗値をリアルタイムで計測可能なシステムを構築した。図 1-1 に本システムの模式図を示す。

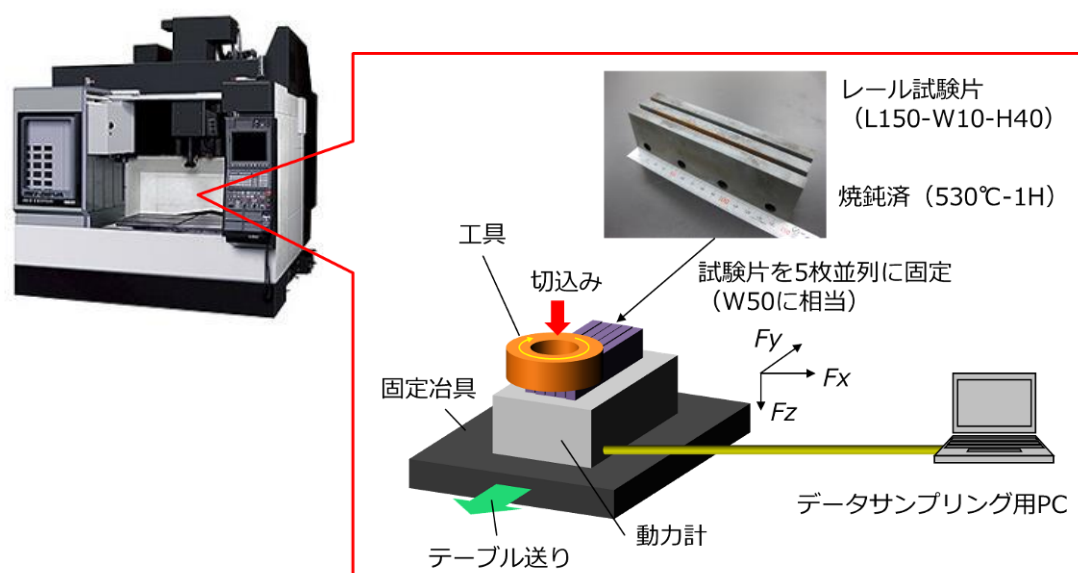


図 1-1 レール研削（切削）現象モニタリングシステム

##### 【1-1-2】 レール研削面の残留応力測定手法の構築

「ポータブル型 X 線残留応力測定装置」を使用し、加工面における残留応力値を測定する手法を構築した。図 1-2 に試験片の加工面における残留応力を測定している様子を示す。また、本装置のオプションとして導入した「電解研磨装置」を用い、加工面から深さ方向における残留応力の分布を測定する手法を確立した。図 1-3 に試験片の電解研磨を実施している様子を示す。

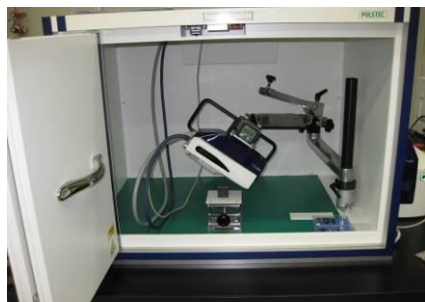


図 1-2 残留応力測定の様子



図 1-3 電解研磨の様子

### 【1-1-3】 レール研削実験の実施

前述のレール研削現象モニタリングシステムを用い、試験片の研削（切削）実験を実施した。実験に供する工具としては、カップ型の一般砥石、#30 の CBN 電着砥石（溝入・溝無）、 $\Phi 12$  チップを取り付けた5枚刃のフライスカッター、七角形チップを取り付けた 10 枚刃のフライスカッターを選定した。各工具の画像を図 1-4 に示す。また、実験した切込深さと送り速度の組合せを表 1-1 に示す。30 分間で  $60\text{cm}^2$  の取り代 ( $2\text{cm}^2/\text{min}$ ) を確保できる複数の条件（切込深さと送り速度）で加工実験を行った。研削砥石とフライスカッターで試験片の加工を行っている様子を図 1-5 に示す。フライスカッターと比較して、研削砥石を用いた場合の方が発生する火花が明らかに多いことが分かった。



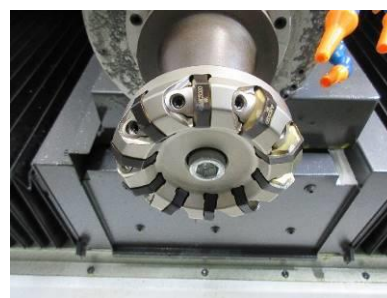
一般砥石



CBN 電着砥石（溝有）



フライスカッター  
（ $\phi 12$  チップ、5 枚刃）



フライスカッター  
（7 角形チップ、10 枚刃）

図 1-4 実験に使用した各工具の外観

表 1-1 切込深さと送り速度の組合せ

項目	切込深さ	送り速度	除去速度
記号	$\Delta$	$F$	$G$
単位	$\mu\text{m}$	mm/min	$\text{cm}^3/\text{min}$
$\Delta 10\text{-F}4000$	10	4000	2
$\Delta 20\text{-F}2000$	20	2000	2
$\Delta 50\text{-F}800$	50	800	2
$\Delta 100\text{-F}400$	100	400	2
$\Delta 200\text{-F}200$	200	200	2
$\Delta 500\text{-F}80$	500	80	2



研削砥石の場合



フライスカッターの場合

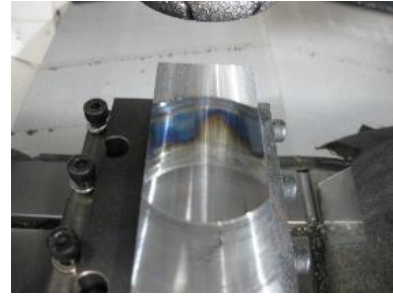
図 1-5 加工中の火花の様子

#### 【1-1-4】研削実験結果の解析

【1-1-3】で取得した実験データに基づいて評価項目毎に比較するベンチマーキングを行った。まず、カップ型の一般砥石では、表 1-1 に示すいずれの条件でも加工すること自体が困難であったため、候補から除外した。一般砥石は比較的低い圧力での定圧切込には適するが、研削焼けが発生し易く定寸切込での使用は困難であることが判明した。CBN 電着砥石では、約  $200\mu\text{m}$  に切込深さの限界値があり、それ以上になると加工面に焼けが発生した。冷却と切屑排出の効果を期待した溝入砥石の方が限界値はより低かった。フライスカッターについては、両工具共に、いずれの条件でも焼けの発生は確認されなかった。図 1-6 に焼けが有りとなしの場合の加工面の例を示す。



焼け無



焼け有

図 1-6 焼けの有無の加工面の例

表 1-2 に各条件における実験データのベンチマーキング結果を示す。評価項目毎に順位付けを行い、その順位に対して評価項目の重要度を考慮した重み付け係数を乗算した。各評価項目の重み付け係数は、送り速度については工具送り方向反転時における反力の増大に大きく影響するため「2」、X 方向と Z 方向の加工力についても、絶対値が大きく装置剛性に影響するため「2」、Y 方向の加工力は絶対値が相対的に小さいため「0.5」とした。残留応力と粗さについては全て「1」とした。実験条件毎に各評価項目の順位に重み付け係数を乗算した値を合計し、合計値の小さい条件から順に

表 1-2 各条件における実験データのベンチマーキング結果

	切込み	順位	送り	順位	抵抗X	順位	抵抗Y	順位	抵抗Z	順位	半径方向 残留応力	順位	円周方向 残留応力	順位	平均粗さ	順位	最大高 さ粗さ	順位	順位 合計*	総合 順位
		重み		重み		重み		重み		重み		重み		重み		重み		重み	順位*	
記号	$\Delta$	0	F	2	Fx	Fy	Fz	0.5	Fz	2	$\sigma_r$	1	$\sigma_c$	1	Ra	1	Rz	1		
単位	$\mu\text{m}$	番	mm/min	番	N	N	N	番	N	番	MPa	番	MPa	番	$\mu\text{m}$	番	$\mu\text{m}$	番		番
溝無CBN30P	10	1	4000	19	4.2	3	0.4	1	20.0	17	-8	10	197	16	3.6	18	20.2	18	141	18
溝無CBN30P	20	5	2000	15	6.2	9	0.6	5	28.0	22	13	11	461	22	4.2	19	21.3	19	166	21
溝無CBN30P	50	9	800	11	4.6	5	0.6	5	20.1	18	32	12	421	21	2.8	17	14.1	17	138	17
溝無CBN30P	100	13	400	8	4.2	3	0.9	12	16.8	12	-212	6	284	20	1.5	16	8.2	16	110	9
溝無CBN30P	200	16	200	5	6.4	10	2.5	17	22.0	19	-746	2	23	9	1.2	12	6.0	12	112	12
溝入CBN30P	10	1	4000	19	0.8	1	1.0	14	2.8	1	-89	8	46	11	5.3	21	27.5	21	110	9
溝入CBN30P	20	5	2000	15	3.0	2	0.6	5	12.4	3	-61	9	136	15	6.9	22	34.4	22	111	11
溝入CBN30P	50	9	800	11	5.0	6	0.8	10	18.0	13	-163	7	19	8	4.4	20	24.4	20	120	15
φ12 Milling	10	1	4000	19	5.6	8	0.4	1	12.4	3	280	19	7	6	0.9	11	5.3	11	108	8
φ12 Milling	20	5	2000	15	6.4	10	0.4	3	13.2	8	323	20	127	13	1.2	13	6.5	13	127	16
φ12 Milling	50	9	800	11	7.8	17	0.5	4	15.6	11	254	18	130	14	1.4	15	7.6	15	142	19
φ12 Milling	100	13	400	8	7.2	13	0.6	5	12.4	3	166	15	66	12	0.8	10	4.2	10	98	6
φ12 Milling	200	16	200	5	6.8	12	0.8	9	10.4	2	125	14	43	10	0.3	8	1.7	7	82	3
φ12 Milling	500	19	80	3	9.0	21	1.8	16	14.8	9	100	13	-36	5	0.1	2	0.7	2	96	4
φ12 Milling	1000	21	40	1	12.0	22	4.4	19	25.0	20	-260	5	-371	1	0.1	1	0.7	1	104	7
7角形 Milling	10	1	4000	19	5.2	7	0.9	13	18.6	14	407.7	21	213.3	17	1.3	14	7.2	14	153	20
7角形 Milling	20	5	2000	15	8.8	19	0.9	11	25.0	20	436.0	22	248.0	18	0.5	9	3.5	9	172	22
7角形 Milling	50	9	800	11	7.4	14	1.3	15	12.4	3	245.7	17	251.7	19	0.3	7	1.9	8	115	13
7角形 Milling	100	13	400	8	7.4	14	2.6	18	18.8	15	235.3	16	10.7	7	0.2	6	1.7	6	118	14
7角形 Milling	200	16	200	5	7.4	14	4.4	19	14.8	9	-330.3	4	-221.3	4	0.2	4	1.2	3	81	2
7角形 Milling	500	19	80	3	8.0	18	6.8	21	12.4	3	-775.3	1	-297.3	2	0.1	3	1.2	4	69	1
7角形 Milling	1000	21	40	1	8.8	19	10.4	22	18.8	15	-726.0	3	-263.0	3	0.2	5	1.4	5	97	5

Rank 1: 7角形チップフライスカッター、 $\Delta 500\mu\text{m}$ 、 $F 80\text{mm/min}$   
 Rank 2: 7角形チップフライスカッター、 $\Delta 200\mu\text{m}$ 、 $F 200\text{mm/min}$   
 Rank 3:  $\phi 12$ チップフライスカッター、 $\Delta 500\mu\text{m}$ 、 $F 80\text{mm/min}$

順位付けを行った。その結果、7角形のチップを取り付けた 10 枚刃のフライス

カッターがレール削正に対して最も適正があることが分かった。

## 【1-2】砥石の最適形状と台金加工技術の開発

### 【1-2-1】砥石（切削工具）の最適形状の開発

60kg レールの CAD データに基づき、工具の正面と側面を駆使してレールの全周を効率的に削正可能な、研削砥石とフライスカッターの形状を開発した。特に研削砥石については切り屑の排出効率の向上や冷却効果が期待できる溝付きの仕様と溝の無い仕様の二種類を開発した。図 1-7 に設計した工具の例を示す。

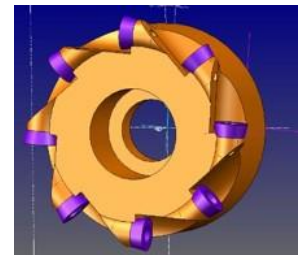
しかし、【3】の模擬試験の結果、粗加工用工具として正面フライスカッター、仕上げ加工用工具としてオフセット砥石が適することが判明し、両工具共に市販品で代用可能であると判断した。



溝無 CBN 砥石



溝入 CBN 砥石



フライスカッター

図 1-7 工具の設計例

### 【1-2-2】砥石台金（切削工具）の精密加工技術の開発

【1-2-1】で開発した、研削砥石（溝付・溝無）の台金とフライスカッターのホルダの 3D-CAD データに基づいて、導入したマシニングセンタを活用して高精度に加工する技術を開発した。砥石台金の形状精度は 0.02mm 以下であり、目標の 0.1mm を十分に下回っていることを確認した。

## 【2】削正装置の機構と構造の設計と製作

### 【2-1】レール断面全周の削正が可能な機構の設計

当初、粗加工から仕上げ加工までを一台で完結する装置の開発を予定していたが、主に加工時間の観点から、切削加工による粗加工機と研削加工による仕上げ加工機の二台で目的を達成することとした。レールの底面は前工程の押抜き加工に任せ、底面以外の大部分の余盛を除去する粗加工機と、頭頂面と頭側面のみを精密に仕上

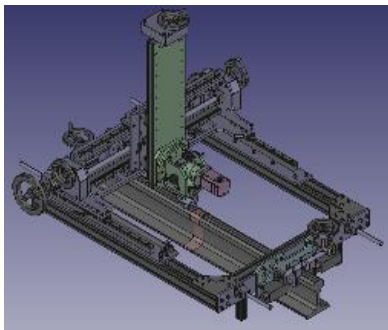


げる仕上げ加工機的设计・製作を行った。

## 【2-1-1】粗加工機的设计と製作

### (1) 粗加工機 Ver.1

図 2-1 に粗加工機 Ver.1 の 3D-CAD 図面と試作機を示す。本装置のフレームは、3 軸のリニアガイドと削正ユニットの角度を変更する回転軸で構成され、リニアガイドは手動式のハンドルで移動可能である。レールの長手方向において溶接部を跨いだ 2 箇所所で本体を固定する両端支持の構造とした。工具には工具の正面と側面で削正可能な内製のフライスカッター（ $\phi 12$  チップ、正面 4 枚刃）を装着した。



3D- CAD 図面



試作機

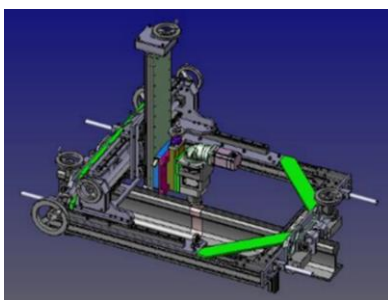


工具

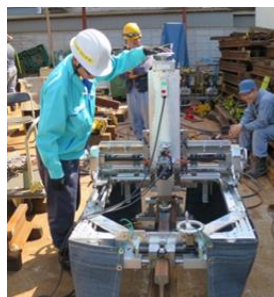
図 2-1 粗加工機 Ver.1 の 3D-CAD 図面と試作機

### (2) 粗加工機 Ver.1.5

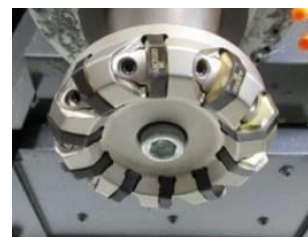
図 2-2 に粗加工機 Ver.1.5 号機の 3D-CAD 図面と試作機を示す。後述する模擬試験において加工中に発生する振動の問題が顕在化したため、Ver.1.のフレーム補強を行った。特にカッターの側面で削正した場合に振動が増幅し、加工面にびびり痕が発生したため、正面のみで加工するフライスカッターに変更すると共に多刃化した（7 角形チップ、10 枚刃）。また、正面のみでレールの底部傾斜面の加工を可能とするため、削正ユニットの回転軸に左右にスライドする機構を設けた。



3D- CAD 図面



試作機



工具

図 2-2 粗加工機 Ver.1.5 の 3D-CAD 図面と試作機

### (3) 粗加工機 Ver.2

図 2-3 に粗加工機 Ver.2 の 3D-CAD 図面と試作機を示す。Ver.1.5 までは両端支持の構造を採用したが、本装置では軽量化のためレールの溶接部に対してオフセットした 2 箇所所で本体を固定する片持ち構造を採用した。また、可搬性と配線処理性の向上のため、制御ボックスと本体を一体化した。削正工具は、7 角形チップを刃数 8 枚付けた外径 71.6mm の市販フライスカッターを採用した。他に Z 軸用のガイドに内製の V-V ガイドに変更して剛性の向上を図った。また、削正ユニットに独立した切込軸を追加し、切込深さの正確な設定を可能とした。

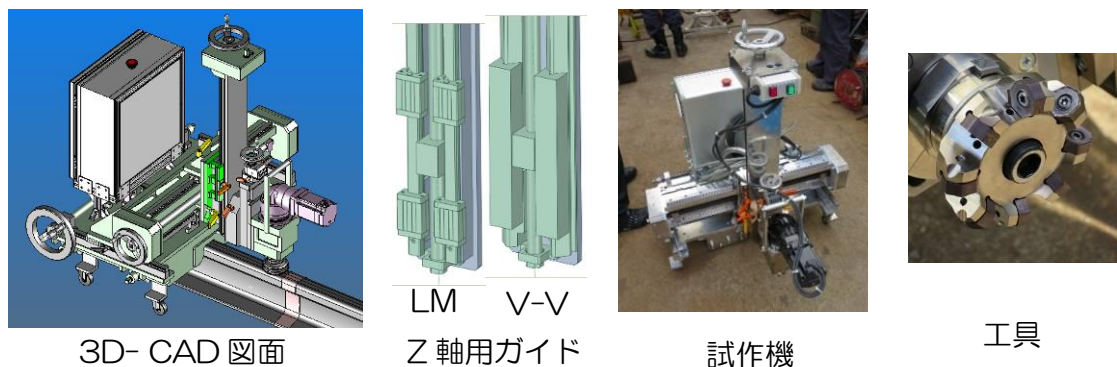


図 2-3 粗加工機 Ver.2 の 3D-CAD 図面と試作機

### 【2-1-2】仕上げ加工機的设计と製作

#### (1) 仕上げ加工機 Ver.1

図 2-4 に仕上げ加工機 Ver.1 の 3D-CAD 図面と試作機を示す。本装置は、削正ユニット（ディスクグラインダ、100V）と削正ユニットのレール長手方向への移動を司るリニアガイド、およびレール断面方向の移動を司る円弧型のガイドから構成される。削正工具は CBN30P（電着）としたが、一般砥石にも変更可能である。レール長手方向の移動は手動とした。また、ガイドは 1 枚であり、削正ユニットを片持ち状態で保持する構造とした。

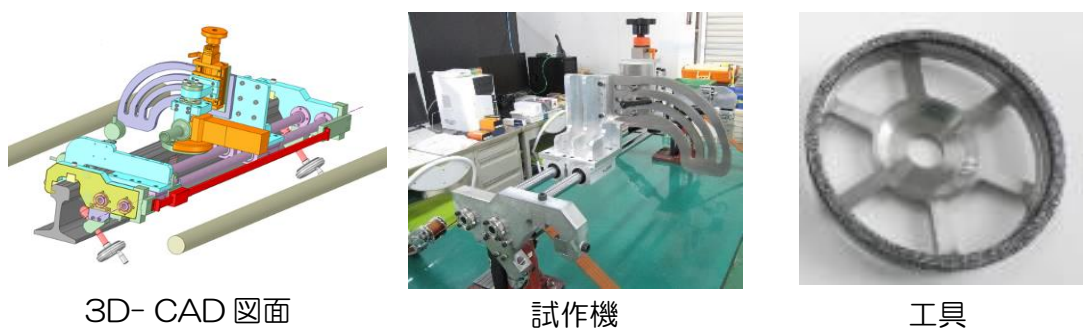


図 2-4 仕上げ加工機 Ver.1 の 3D-CAD 図面と試作機



## (2) 仕上げ加工機 Ver.2

図 2-5 に仕上げ加工機 Ver.2 の図面と試作機を示す。100V のディスクグラインダでは加工中にグラインダが停止する場面が散見されたため、ディスクグラインダを 200V に仕様変更した。

削正ユニットのレール長手方向における移動について、1 号機では手動であったが、本装置では自動送り機構（ストローク 300mm）に変更した。また、ガイド板を 2 枚にし、両端支持構造にすることにより剛性の向上を図った。削正工具は CBN60P および一般砥石を選択可能とした。



図 2-5 仕上げ加工機 Ver.2 の 3D-CAD 図面と試作機と工具

## (3) 仕上げ加工機 Ver.3

図 2-6 に仕上げ加工機 Ver.3 の 3D-CAD 図面と試作機を示す。Ver.2 と同様にレール長手方向の移動は自動送り機構でストローク 600mm とし、削正ユニットのガイドは、ガイド板の溝 1 本にローラー 2 個で俵う仕様に単純化した。削正工具は市販のオフセット砥石とした。加えて、制御ボックスを本体に一体化し、制御ボックス上に自動送りストローク切替等の操作スイッチを配置することにより、作業を中断することなく自動送りストローク等の変更を可能とした。また、削正ユニットを上方へ釣り上げる状態を維持するバネバランサを搭載し、削正ユニットを持ち上げる際の負担を軽減した。

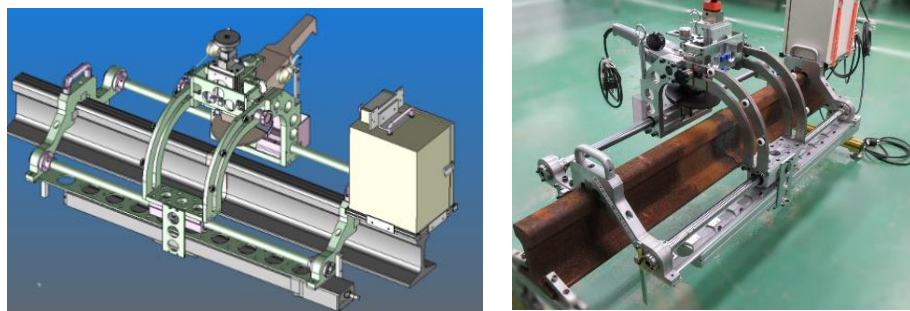


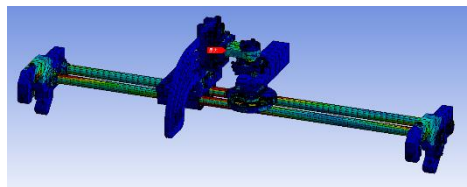
図 2-6 仕上げ加工機 Ver.3 の 3D-CAD 図面と試作機

## 【2-2】 過研削防止機構の設計

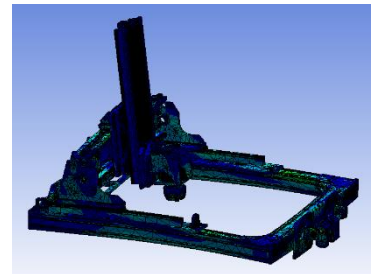
ダイヤル式ハンドルに加えて、スライドロック機構を設けて異常切込みを防止した。

## 【2-3】 フレームの構造解析

装置の3Dデータを簡略化したモデルを使用し、静解析により静的荷重が負荷された場合のフレームの信頼性を確認した。また、モーダル解析により振動しやすい固有値や振動形態、さらに周波数応答解析により振動現象を含むフレームの信頼性を確認するなど、加工機の設計に有用な知見を提供した。静解析の事例を図2-7に、モーダル解析の事例を図2-8に、周波数応答解析の事例と実振動の測定の様子を図2-9に示す。



仕上げ加工機 1号機の静解析



粗加工機 1号機の静解析

図 2-7 静解析の事例

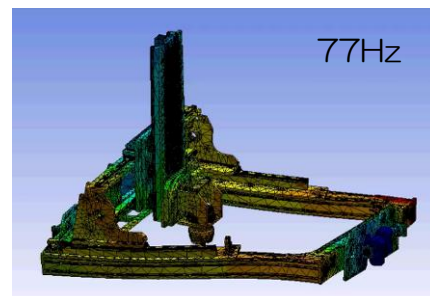
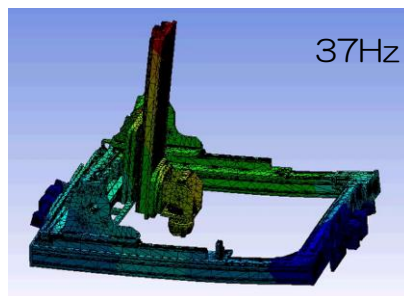
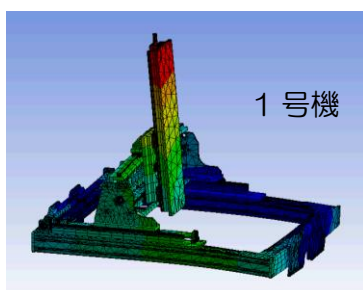
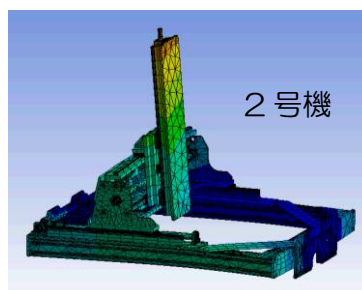


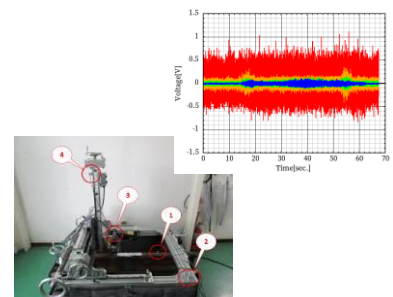
図 2-8 モーダル解析の事例 (粗加工機 1号機)



最大変位：19.3 μm



最大変位：14.6 μm



実振動の測定

図 2-9 周波数応答解析の事例と実振動の測定の様子

#### 【2-4】 耐候性の設計

粗加工機、仕上げ加工機共に、電気駆動部品について、散水試験（10L/min で 1 分間、2 セット）と温度サイクル試験（-15～40℃、3 サイクル）を実施し、故障なく作動することを確認した。温度サイクル試験の様子を図 2-10 に、散水試験の様子を図 2-11 に示す。



供試体を配置した恒温槽内



恒温槽内にて装置起動時

図 2-10 温度サイクル試験の様子



10L/min の流量  
で散水、1 分間、  
2 サイクル

図 2-11 散水試験の様子

#### 【2-5】 作業安全性の設計

粗加工機・仕上げ加工機とも非常停止ボタンを装備すると共に、研削加工を行う仕上げ加工機には砥石カバーを具備した。また、両加工機共にリスクマアセスメント表を活用して問題点の抽出と対策案の検討を行い、安全性の設計に盛り込んだ。

#### 【2-6】 可搬性の設計

##### (1) 粗加工機

昨年製作した粗仕上げ機が 170kg で 6 人搬送に対し、今年作成した粗加工機は 135kg で 4 人搬送と軽量化を図ることができた。3 ユニットへの分割が可能になっているが工具を使っでの分解・組立が必要である。

##### (2) 仕上げ加工機

総重量 73kg であり 2 名で運搬可能である。実用機では 65kg 程度まで軽量化する見込みである。



## 【2-7】装置の製作

大研工業（株）が主体となり製造・組立・調整を行った。

## 【3】模擬試験と実地試験

装置は、前工程のレール圧着、押抜き工程に引き続くレール温度が600℃から加工を始める必要があるため、溶接業者の訓練施設において一貫作業としてレール削正の模擬試験を実施した。

### 【3-1】H30年度模擬試験

粗加工機と仕上げ加工機のVer.1を溶接業者の訓練施設に持ち込み、模擬試験を実施した。

図2-12に模擬試験の様子を示す。本模擬試験により、粗加工機に関してはレール削正時における振動（特にレール底部傾斜目をカッター側面で加工時）の問題が確認された。

仕上げ加工機に関してはグラインダの能力不足や部分的に円滑な移動を妨げるガイド形状、CBN砥石のやや不快な削正音等の問題が確認された。



### 【3-2】R1年度模擬試験

最初の模擬試験に粗加工機 ver.1.5 と仕上げ加工機 Ver.2 を溶接業者に持ち込み模擬試験を実施し、粗加工機に関しては、フレームを補強したことにより振動はやや抑制されたものの、筋交いによって視認性が低減したことが確認された。

仕上げ加工機に関しては自動スライド機構のストローク不足と、ストロークが一定であることによる無駄なエアカット時間の発生等の問題が確認された。

図2-12 模擬試験の様子

続いて、粗加工機 Ver.2 と仕上げ加工機 Ver.3 を溶接業者に持ち込み模擬試験を実施した。(図2-13) 粗加工機 Ver.2 は、新規設計の片持ち構造にしたことで、軽量化と削正ユニットの操作性や視認性が大幅に向上し、一通りの粗加工が行えることが実証されたものの、重量過多と加工時間に対して操作時間比率が高いという課題を確認した。

仕上げ加工機 Ver.3 は、細かな改良点は残ったものの、熟練作業員より初心者でも高精度な仕上げが可能であるとの高い評価を頂いた。図2-14は、本装置で仕上げ加工したレール。



図 2-13 模擬試験の様子



図 2-14 本装置で仕上げ加工したレール

#### 【4】特許出願・進捗管理

仕上げ加工機の構造で 1 件の特許出願（特願 2020-024898）を実施。

## 最終章 全体総括

### (1) 研究開発成果

#### (1)-1 粗加工機

加工工具や加工条件の検討を経て、粗加工にフライスカッターによる高能率な切削加工を取り入れ、下面を除く各面の粗加工が出来る装置を開発できた。重量と操作性に課題は残すものの、搬送可能なレールの多面加工機は実現できた。

また、各種構造解析を駆使し装置設計の支援を得ることができ、実加工状態での振動データと振動シミュレーションの照合評価も可能になった。

#### (1)-2 仕上げ加工機

実質2年間で3世代の装置を設計製作し、実際に加工している作業者に使用して頂いた。レールの頭頂面と頭側面を熟練技能のない初心者でも高精度な仕上げを実現できる可能性がある機械として作業者の評価を頂いた。削正ユニットをレール長手方向に自動で往復運動させる自動送り機構と、削正ユニットの重量をキャンセルするバネバランスを追加したことにより、さらに評価が高まったと言える。本装置の機構について知財化の準備も進めた。

### (2) 研究開発後の課題

#### (2)-1 粗加工機

下面を除く各面の粗加工が出来る粗加工機としての装置開発を進めてきたものの、現場の作業員から受け入れられるまでの完成度には至らなかった。特に軸移動やクランプ等の段取りに要する非加工時間の割合が多く効率的な削正が難しいことと、運搬に4人以上を要する装置重量の問題が作業員に敬遠される要因となった。鉄道レールに限定しない市場への展開に望みがあるので、継続して調査する。

#### (2)-2 仕上げ加工機

熟練がなくても高精度な仕上げが出来そうな機械として作業員からの評価を頂いたものの、取扱い性や労力軽減の面で、さらに改善すべき課題も確認された。1年程度の補完研究と溶接業者による実機検証を経て、熟練作業員に頼り劣悪な環境の中での作業となっている鉄道レールの溶接余盛削正作業の負担軽減に役立てたい。

### (3) 事業展開

仕上げ加工機は補完研究で装置レベルの向上を図り、溶接業者での実機加工結果を経て、早期の販売につなげる。

粗加工機は、鉄道レール以外の業界へも範囲を広げて活用を調査して行く。

#### 事業化予定

令和2年度：仕上げ加工機のデモ機を完成し、溶接業者に貸出評価検証

令和3年度：数社に絞って仕上げ加工機販売開始

令和4年度：仕上げ加工機本格販売開始

#### 売上予定

令和3年度年度： 12,000 千円/年

令和4年度年度： 38,400 千円/年

令和5年度年度以降： 64,000 千円/年