

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月 2日現在

機関番号：35302

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2012

課題番号：22560433

研究課題名（和文）軸重計による高速走行車両の高精度軸重値推定法確立のための小型実験装置による研究

研究課題名（英文）A Study for Establishing an Accurate Estimation Method of Axle Weights for In-motion Vehicles with High Velocity by Using Miniature Experimental Models

研究代表者

吉田 浩治（YOSHIDA KOJI）

岡山理科大学・工学部・教授

研究者番号：00254433

研究成果の概要（和文）：

軸重計は走行車両の軸重を計測する装置である。計測値の精度改善のために軸重計からの荷重信号を信号処理することで軸重を推定する方法が研究されている。本研究では軸重推定法の精度検証と改善のために小型計測車両と小型軸重計が開発された。そして、これらの小型模型を用いて、小型計測車両の運動データと小型軸重計からの荷重信号を取得して処理する実験が行われ、開発された小型模型は十分な機能を備えていること、および、軸重値推定法が荷重信号の振動成分を適切に推定できることが確認された。

研究成果の概要（英文）：

Axle weighing system measures axle weights of in-motion vehicles. A method have been studied for estimating the axle weights by processing weight signals from the axle weighing system to improve the accuracy of the measured axle weights. In this study, to examine and improve the accuracy of the measured axle weights, a miniature instrumented vehicle and a miniature axle weighing system have been developed. Also each function of the miniature models is verified through the experiments to obtain motion data of the miniature instrumented vehicle and weight signals. By using the obtained weight signals, it has been examined that the method can estimate the vibration component in the weight signals adequately.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2011年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2012年度	800,000	240,000	1,040,000
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・計測工学

キーワード：軸重計、走行車両、信号処理、軸重値推定法、精度、改善、実験用小型模型

1. 研究開始当初の背景

現在使用されている軸重計のほとんどは高速道路の料金徴収ゲート直前に設置されて過積載車両に警告を与える目的に使用されている。

(1) 過積載車両の社会的問題。

道路上で過積載車両の運転は、重大事故を誘発する危険な行為である。また、過積載車両の走行は路面や高架施設に深刻な影響を与えるし、道路周辺に騒音や振動公害をもた

らす。さらに、高負荷によりディーゼルエンジンの排気ガスは黒煙化し大気汚染を助長する。過積載車両の排除は警察による取り締まりによってのみ可能である。取締にはトラックスケールと呼ばれる車両全体を載せる計測装置が用いられるが、これを用いる場合、車両をトラックスケールの上で静止させる必要がある。さらに、計測場所までの誘導などを考慮すると効率良く過積載車両を排除するのは難しい。

(2) 軸重計とそれの問題。

図1に示すように、軸重計は軸重を計測するのが目的であるので、2軸が同時に乗らないように、計量台の幅(車両進行方向)はタイヤの直径にほぼ等しく設計されている。軸重計は車両の走行中に計測を行うので、車両振動の影響を受ける。図2に検出部(載荷板とロードセルからなる)から得られる信号の概略図を示す。タイヤが載荷板に乗り込むと同時に信号は立ち上がり、タイヤが完全に載荷板上にある時間間隔を経て、タイヤが立ち退いて行くのに応じて信号は下がる。走行中の車両振動がなければ、タイヤが完全に載荷板上にある時の信号はフラットになり、それが軸重として原理的に真値が得られる。ところが振動の影響に

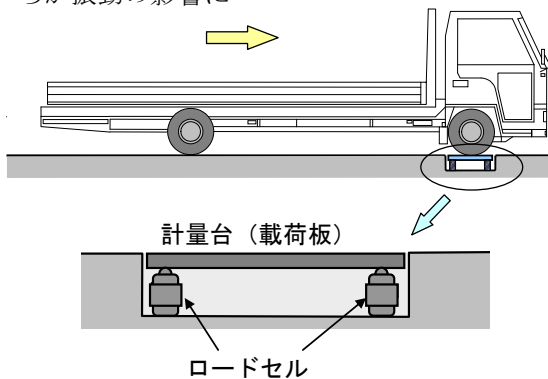


図1 軸重計

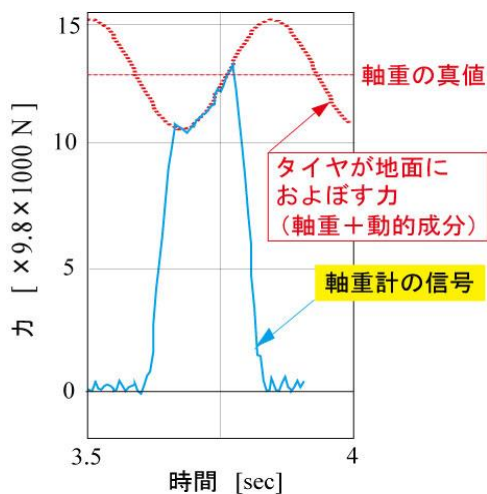


図2 軸重計からの信号

より、フラットな部分が曲線になる。この振動成分を除去しない限り精度良い軸重値は得られず、トラックスケールほどの高精度な測定値は得られない。さらに、車速が高くなるにつれ、タイヤが載荷板上を通過する時間が短くなり、精度良い測定値を得ることは一層難しくなる。これにより、軸重計の測定値は過積載車両に警告を出すに留まっている。軸重計の測定精度が向上すれば、その測定値をもって、通過車両総ての中から過積載車両を総て排除することが可能となる。

2. 研究の目的

上で述べたように、高速で走行する車両の軸重を高精度で得るための方法を確立する。まず、研究室内で実験できるように、小型の軸重計(計量台と車両のための走行レーン)を製作する。また、走行中の車両の運動(振動)状況が詳細に記録できる特殊な計測車両のミニチュア模型を開発する。これを用いることで、高速で走行中の車両の運動と軸重計からの信号の相関の研究が可能となる。次にその研究結果に基づいて、すでに提案されている信号処理法(定常車体振動を推定し、その影響をキャンセルする適応フィルタを構成する方法)をベースにして大きく発展させ、高速走行時の車体運動を十分に考慮した高精度軸重値推定方法を確立する。車速については60km/h程度までを考えている。

小型模型を製作する理由。

上で述べた特殊な計測車両を実車で開発する場合、費用は多大になる。また、実車による実験を行うための施設を製作することは、さらに多大な費用が必要になる。著者らの研究においては、いずれ実車による計測車両と既設で稼働中の軸重計を用いた実験による検証が必要となるが、その前段階として研究室内での実験で高精度軸重値推定方法の確立に取り組む。

3. 研究の方法

まず、研究室内で実験できるように、小型の軸重計(計量台と車両のための走行レーン)を製作する。また、走行中の車両の運動(振動)状況が記録できる特殊な計測車両のミニチュア模型を開発し、高速で走行中の車両の運動と軸重計からの信号の相関の研究を行う。次にその研究結果に基づいて、すでに提案されている信号処理法を発展させ、高速走行時の車体運動を十分に考慮した高精度軸重値推定方法(主に信号処理法)を確立する。現在、走行車両で発生する信号を取得し、軸重計信号との相関関係を明らかにするための装置は存在しない。小型の軸重計と計測車両のミニチュア模型を製作し多様なデータを取得することから始める必要がある。

4. 研究成果

(1) 小型計測車両の開発

まず、市販の 1/10 スケールラジコン模型をベースにした小型計測車両を製作し、その問題点を洗い出すことで、研究の目的を達成するために、小型計測車両が備えるべき機能と装置が得られた。つぎにそれらを列挙する。

① 小型計測車両が備えるべき機能と装置

1. 車体振動の計測のための加速度センサ
2. 速度検出のためのタコジェネレータ
3. 加減速を行うためのアクセルやブレーキ
4. 任意の振動成分を加えるための加振機
5. 重量を変更するためのおもりを設置できる荷台

② 小型計測車両

上で列挙した機能を備えた小型計測車両の開発を行った。1/6 スケールのガソリンエンジン駆動のラジコン模型をベースにした(図3)。ガソリンエンジンでは研究室で実験ができないので DC モータに置き換え、空気入りタイヤに変更した。開発した小型計測車両は車体全長 750 mm, 全幅 480 mm, 重量約 18.5kg, タイヤ径 240 mm である。

車両には、車体の前軸後軸の振動を計測するために加速度センサを荷台の各軸上に 4 つ、計測後のデータを記録するために SD データロガーを設置した。

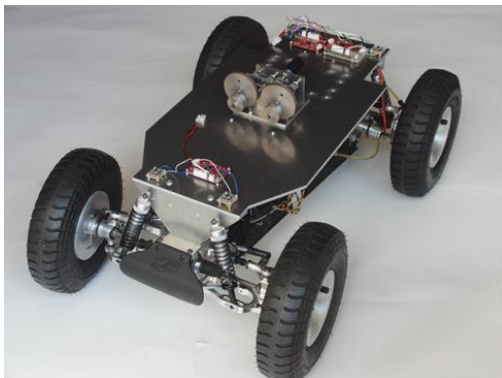


図3 小型計測車両

速度検出のためのタコジェネレータはモータから駆動輪に動力を伝達する軸の回転速度を検出できるように設置した。ブレーキは油圧式のディスクブレーキをそのまま用いた。

車体に任意の振動を与えるための加振機を図4に示す。この加振機を車体に設置する荷台の中央部に固定し車体に振動を与える。この加振機は、振動数約 19 Hz で各軸の静的な軸荷重のおよそ 20% までの力を発生することができるように設計した。

③ 小型計測車両の運動状態の計測実験

開発した車両が計測車両としての機能を

果たしているかを調べるために走行実験を行った。

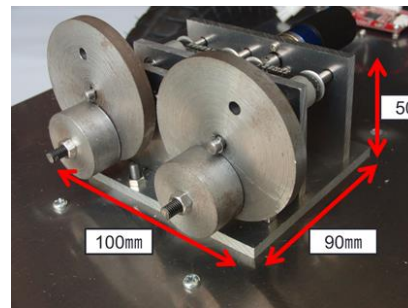


図4 加振器

・速度検出

速度検出用のタコジェネレータからの出力信号を速度に換算したデータをグラフにしたものを図5に示す。

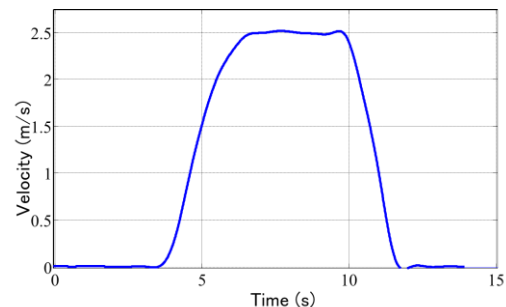


図5 速度検出グラフ

グラフから加速、減速ができていることがわかる。さらに速度も検出できている。ほぼ一定速度になっている部分の平均値はであった。これは小型軸重計の荷重信号を用いた速度の算出値とほぼ等しく、速度検出が十分にできていることが分かった。

・車体振動

荷台に設置した加速度センサによって計測車両を走行させた時のデータを取得した。左前軸の上下方向の加速度データをサンプリング周波数 600 Hz で取得した。得られた加速度データから、車体上下方向の振動成分を知るためにパワースペクトル密度 (PSD) を求めた(図6)。

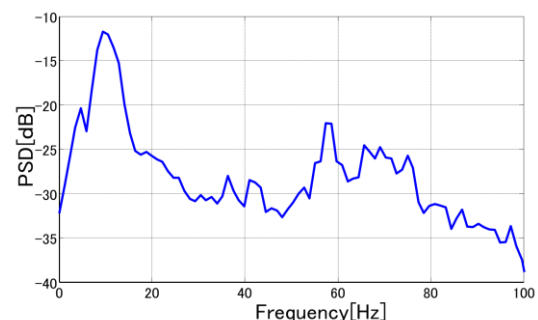


図6 車体振動データの PSD

ピークがいくつか見られるが、これらのピークに対応する振動は様々な走行実験から、地面から受ける振動、モータを駆動させた際の振動と車体の固有振動であると思われる。もっとも大きなピークは約 12 Hz にあり、これが車体の固有振動数である可能性が高い。他のピークはさほど大きくなく、無視しても問題はない。

・加振器

次に加振機を動作させ車両を走行させた際に得られた車体の加速度データのパワースペクトル密度を図7に示す。

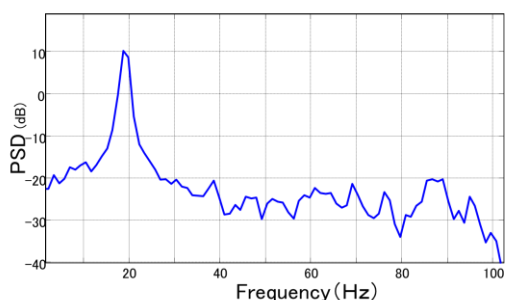


図7 加振器を稼働させたときの車体振動のPSD

加振機を動作させた場合、図6に比べてピークが約 19 Hz で顕著に出ていることがわかる。加振機によって車体を特定の振動数で振動させることができることを示した。

(2) 小型軸重計の開発

本研究において小型軸重計は実機と同様に荷重検出部を金属製の載荷板とロードセルを用いて構成することにした。開発した軸重計の外観を図8に示す

小型計測車両の大きさに基づいて小型軸重計の試作を行い、それを用いた実験から軸重計本体に以下の3つの問題があることが明らかになった。

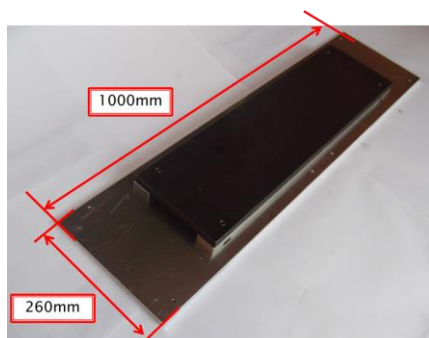


図8 小型軸重計

① ロードセルと載荷板の接触点の問題

載荷板を支える複数個のロードセルの載荷板との接触点の高さが合っておらず、各ロ

ードセルが載荷板の荷重を均等に受けていなかった。

② ロードセルの載荷板に対する位置の問題

ロードセルの位置が載荷板の両端より中央に寄っていた。そのため車両が載荷板に乗り込んだ時、乗り込んだ側と反対側の端がロードセルより浮いていた。

③ 載荷板の横ずれの問題

車体が載荷板上に乗り込んだ時、載荷板が横ずれを起こしていた。

これらの問題を改善するため以下の工夫を行った。

④ 問題①に対して

各ロードセルで載荷板を均等に受けるように底を平らに加工したステンレス六角穴付止ネジ(以下イモねじと呼ぶ)を用いた(図3)。載荷板に各々のロードセルが支持する部位に穴を空け、ねじ切り加工を施し、イモねじをねじ込む。イモねじを上下させることにより、ロードセルとの接触面の高さを調節することができる(図9参照)。



図9 高さ調節のための工夫

⑤ 問題②に対して

検出部には4つのロードセルを使用している。これらの位置を端側に寄せた。

⑥ 問題③に対して

リニアブッシュと呼ばれる部品(図10)を用いて横ずれを防いだ。リニアブッシュとは摩擦を軽減させるために内側に小さなボールが多数設置されている。図10のようにロードセルの台座の部分に六角穴付ボルトを取り付け載荷板の運動を拘束するガイドとし、そこに載荷板に埋め込んだリニアブッシュを通して

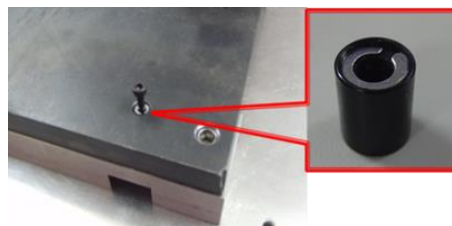


図10 横ずれに対する工夫

小型軸重計に使用した、ロードセルの仕様のうち主要な項目を下に記載する。

- ・定格容量：100 N (10.20 kgf)
- ・許容負荷：150%
- ・固有振動数：約 47 kHz

⑦ 荷重信号取得実験

開発した軸重計を用いて荷重信号の取得実験を行った。荷重信号とは、載荷板を支える4つのロードセルの出力信号を総和した信号のことである。

まず、小型計測車両を手で押すことで前軸と後軸の両方を載荷板上を通過させたときの荷重信号を図1-1に示す。

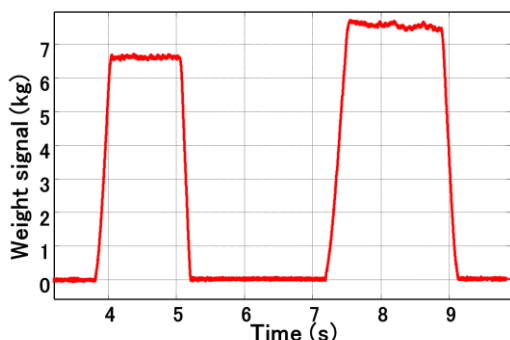


図1-1 手押し走行時の荷重信号

手で準静的に走行させて、車体の振動は生じていない状況での荷重信号である。図において約4秒から5秒の間に荷重信号が約6.5 kgで一定値になっていることが分かる。この部分（有効部と呼ぶ）は前軸が完全に載荷板上に乗っていた時間間隔である。後軸のそれに相当する部分が約7.5秒から9秒の間に見られる。それらの部分がほぼ一定値を保っていることをもって開発した軸重計は秤として機能していることが分かる。

つぎに、この軸重計を用いて小型計測車両をモータで駆動して載荷板を通過させることで得られた荷重信号の一例を図1-2に示す。この時の车速は約0.5 m/sで、サンプリング周波数は1 kHzとした。この荷重信号には有効部やタイヤが立ち退いた後に何らか

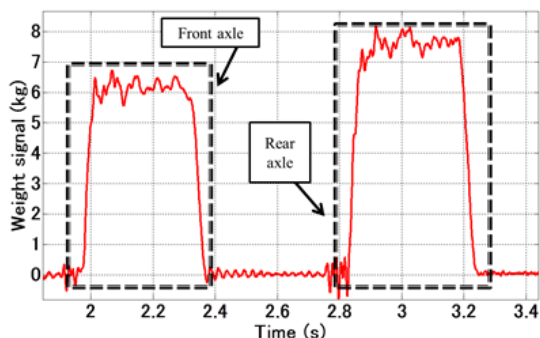


図1-2 モータによる走行時の荷重信号

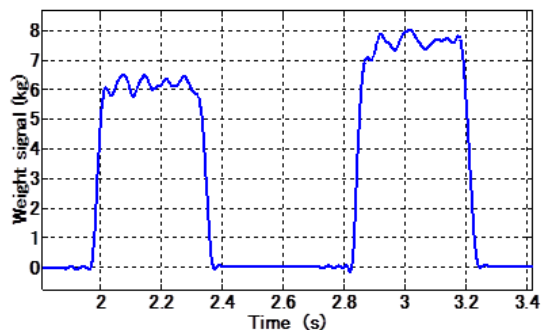


図1-3 フィルタによる処理後の荷重信号

の振動が含まれている。これらは様々な実験より約36 Hzと約71 Hzに振動数をもつ検出部の固有振動と約12 Hzの車体の固有振動であることが分かっている。カットオフ周波数30 Hzのローパスフィルタをかけて振動を除去したグラフを図1-3に示す。図には、まだ振動が残っていることが分かる。これは車体の固有振動であり、カットオフ周波数10 Hzのローパスフィルタをかけることで有効部はほぼ平らになる。以上より、開発した軸重計は秤として機能していることを確認した。

図1-4は加振器を動作させて載荷板上を通過させたときの荷重信号である。有効部には約19 Hzの振動が重畳しているのが分かる。これは、加振器を動作させたときの車体の振動と一致しており、加振器によって荷重信号に特定の振動を混入させられる事を確認した。

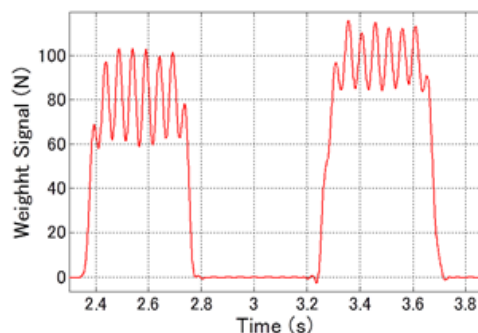


図1-4 加振器の動作走行時の荷重信号

(3) 新推定法の適用

図1-5は加振器を動作させずに小型計測車両を載荷板の上を通過させたときに得られた荷重信号の一例である。この荷重信号にも、上で述べたとおり検出部の固有振動が重畳している事が分かる。しかし、振動数は分かっているので30 Hzのカットオフ周波数を持つローパスフィルタを掛けた。得られた信号に新推定法を適用して、有効部に混入している振動成分の振動数と位相を推定した。得られた振動成分を同じグラフに重ねて描いたものが図1-6である。この図から新推定法によって概ね適切に振動成分が推定できて

いることが分かる。また、各軸の軸重値も推定を行った。(静止軸重値を真値とみなして)真値に対する精度を計算した結果、前軸は4.5%、後軸は0.6%の誤差であった。精度の検証は引き続き実施していく。

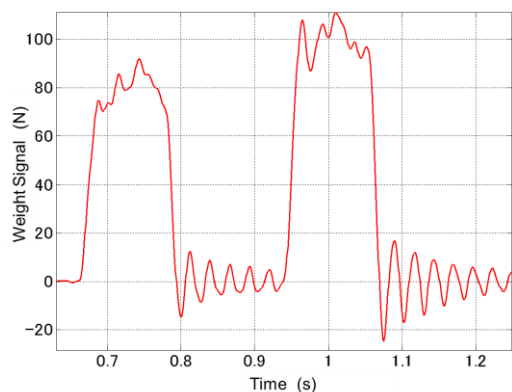


図 1.5 荷重信号の一例

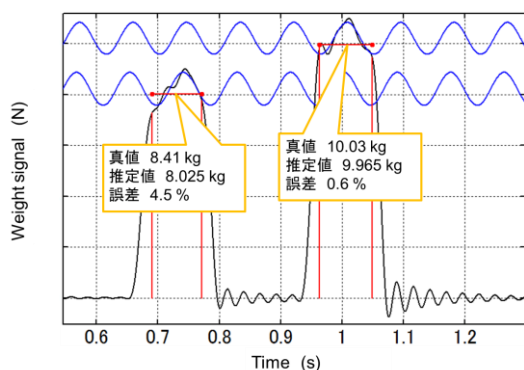


図 1.6 新提案法の適用結果

(4)まとめ

振動成分を考慮した軸重値推定法の精度検証及び改善に用いるデータを取得するための小型実験機を開発した。また必要となる信号の取得実験を行なった。加振器に改良が必要ではあるが、開発した小型実験装置によって、軸重値推定法の実証的な研究を進めることができるようになった。今後の課題は、計測実験を重ね軸重計の計量精度を明らかにする。また、様々な実測の加速度、荷重信号のデータを取得蓄積し、車体振動加速度と荷重信号との相関を把握することで軸重値推定法を改善していく。研究成果は国内外で発表する予定である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計4件)

① 佐藤智之、軸重計による走行車両の軸重

値推定法を改良するための小型実験機の開発、日本機械学会 2013 年度年次大会 2013 年 9 月 8 日～11 日、岡山大学、発表予定

- ② 佐藤智之、小型実験装置を用いた走行車両の高精度軸重値推定法について、日本機械学会中国四国支部第 51 期総会・講演会 701、2013 年 3 月 8 日、高知工科大学
- ③ 藤原寛行、高速走行車両の軸重値推定法を改善するための小型計測車両と軸重計、第 22 回インテリジェントシステムシンポジウム、2C1-5、2012 年 8 月 31 日、沖縄県浦添市てだこホール
- ④ 藤原寛行、軸重計による高速走行車両の軸重値推定法—小型計測車両と軸重計の製作—、第 54 回自動制御連合講演会、2H201、2011 年 11 月 20 日、豊橋技術科学大学

[その他] (計1件)

吉田浩治、藤原寛行、衣笠哲也、福田謙吾、走行車両の高精度軸重値推定法—小型実験装置の製作—、岡山理科大学 OUS フォーラム 2012、2012 年 11 月 21 日、岡山プラザホテル

6. 研究組織

(1)研究代表者

吉田 浩治 (YOSHIDA KOJI)
岡山理科大学・工学部・教授
研究者番号：00254433

(2)研究分担者

衣笠 哲也 (KINUGASA TETSUYA)
岡山理科大学・工学部・准教授
研究者番号：20321474
藤本 真作 (FUJIMOTO SHINSAKU)
岡山理科大学・工学部・准教授
研究者番号：00278912

(3)研究協力者

福田 謙吾 (FUKUDA KENGO)
(株) 創発システム研究所