

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 13 日現在

機関番号：32714

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24500218

研究課題名(和文) デジタル映像アーカイブのための画像修復システムの開発

研究課題名(英文) Development of digital restoration processing of motion picture for digital archiving

研究代表者

武尾 英哉 (TAKEO, HIDEYA)

神奈川工科大学・工学部・教授

研究者番号：90434414

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：筆者が従来開発した”ブロッチノイズ”，”スクラッチノイズ”，”フリッカーノイズ”，”フレームの不規則な揺れ”のそれぞれに対応したノイズ抑制処理に加えて，”フォーカス微動の変動”にも対応したノイズ抑制処理を開発し，これらを統合した経年劣化フィルム向け統合ノイズ抑制システムを製作した．また，上記統合ノイズ抑制処理をベースに改良した民生用ビデオ映像向けノイズ抑制処理を開発し，ビデオ向け専用ノイズ抑制システムも製作した．この2つのシステムを，実際の経年劣化フィルム及びVHSテープよりデジタル化したビデオ映像に適用した結果，実用的な処理時間で良好なノイズ除去効果を得ることができた．

研究成果の概要(英文)：In addition to respective noise suppression processing for blotches, scratches, flicker, and irregular frame shake, developed previously by the author, noise suppression processing for focus micro-variations was developed. An integrated noise suppression system for age-deteriorated film that integrates all of these was created. Additionally, noise suppression processing for consumer video images was developed with improvements based on the above-mentioned integrated noise suppression processing, and a video-dedicated noise suppression system created. Applying these two systems to digital video images obtained by digitizing actual age-deteriorated film and VHS tape yielded excellent noise removal effects in a practical amounts of processing time.

研究分野：画像工学

キーワード：画像処理 人工知能 認知工学 経年劣化ノイズ抑制処理 ビデオ映像ノイズ抑制処理 モデル化 システム工学 実用化

1. 研究開始当初の背景

これまで筆者は、主なフィルム損傷であるフリッカーノイズ、スクラッチノイズ、フレームの不規則な揺れ、プロッチノイズに対応したデジタル修復処理の開発を進めてきた。その成果として、我々の従来と同等レベルの修復画質性能を約 1 / 20 の演算時間で実現（高速化）した。すなわち、より実用的な処理の実現を達成した。各処理の特徴を下記に簡単に述べる。

(1) ヒストグラムの類似性に基づくフリッカーノイズの修復処理

元のシーンには存在しない明るさの不自然な時間的変動として定義されるフリッカーノイズを、前フレームとの輝度ヒストグラムの分布形状の線形的な類似性(図1)から補正する独自の新規手法を提案した。

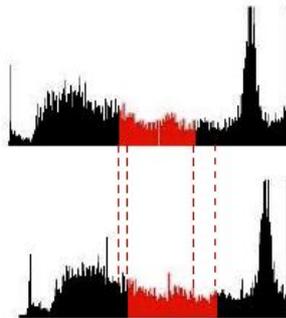


図1. ヒストグラムの類似性

(2) フレームの不規則な揺れ修復処理

図2の例のように、複数のROI(関心領域)をフレーム間の動き補償により設定し、移動ベクトルを求める。次に、ルールに基づく取舍選択ベクトル法により、ひとつの移動ベクトルを定め、そのベクトルにより、画像をシフト(移動)させてフレームの揺れを修整する独自の新規手法を提案した。

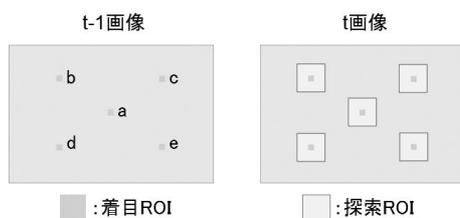


図2. 複数のROI

(3) スクラッチノイズ修復処理

画像に対して鉛直方向の線として延びるスクラッチノイズを、モフォロジー処理画像(背景像のみの抽出)と微分処理+ハフ変換した画像(線強調)との差分画像から高精度に検出する手法を提案した。図3のように、処理を複数の短冊領域に分けることで

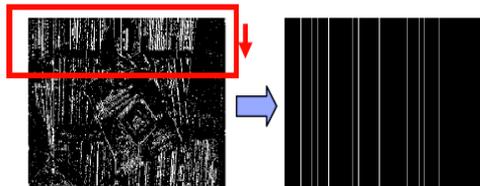


図3. 短冊領域

短いスクラッチも検出できるようになった(独自新規手法)。

(4) プロッチノイズ修復処理

フィルム表面の埃の付着や経年劣化による感光乳剤の剥離などの要因によって生じる斑点状の損傷であるプロッチを、動き補償処理の画像後の差分画像から動きとは無関係に発生するプロッチノイズを検出し、領域を拡張した上で周辺画素を用いて修復する新規手法を提案した(図4参照)。



図4. プロッチ修復結果

しかしながら、各処理の統合化と実性能の把握が今後の課題として残された。一方、齋藤らも同様な研究を行っているが、処理が非常に複雑なため、演算時間の観点から実用化には至っていない。一方、本研究は、実用化を主眼としており、画質改善効果を維持しつつ簡易で高速な処理の開発を目的としている。

2. 研究の目的

以下に示す方針で研究・開発を進め、システムとしての完成を目指す。

フォーカス微動に対応した処理を開発し、5つのノイズ修復処理を統合させ、高画質化と高速化を図り、実利用システムとして運用できる処理を完成させる。

独自の新規高速化手法の提案(アルゴリズムの高速化)とソフトの高速化検討。

システムソフトウェアとして、上記処理を完成させる。

すでにオファーを頂いている幾つかの機関(品川区立図書館、慶応大学DMCなど)から、実際の貯蔵フィルムをお借りし、フィルムをデジタル化するともに、より開発したシステムを用いて修復処理の効果を確認する。

更に、要望の高い家庭用の旧来のフィルム撮像系(例えばVHSビデオ映像)への対応も検討する。

なお、図5には、各ノイズ抑制処理を統合化した時の構成を示す。

予想される効果としては、劣化により損失してしまう貴重な記録資産を、デジタル化すると同時にデジタル画像処理技術によ

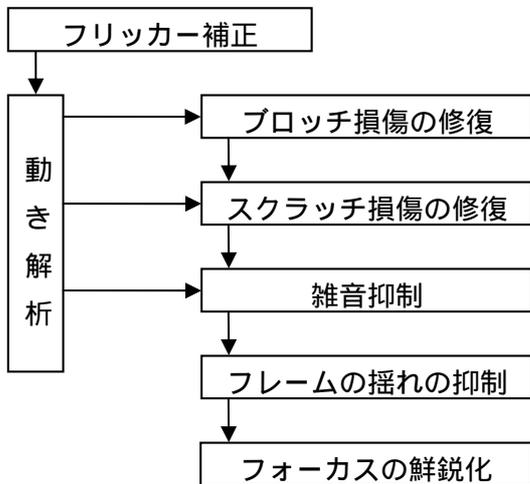


図5. 修復処理の統合

るノイズ抑制によって画質を改善した上で半永久的に保存できるため、文化的意義は高いと考えられる。

また、本技術の独自性・新規性とアプローチのポイントとして以下の4つがあげられる。

画像の複雑さの推定による適応的動き補償処理の提案。すなわち、領域の複雑さによるパターンマッチングの精度の間引きの適応化により高速化を図る。

5つの処理の処理干渉の防止（処理の順序性と処理のロバスト性の改善）を図りつつ、ノイズとは独立なフレーム間・フレーム内の画像情報の相関性を利用した高画質化と高速化（処理の簡易性）を両立させる技術の確立。

実運用が可能なシステム開発と実フィルムでの評価・運用。

家庭用の撮像・映像系(例えば8mm映写フィルムやVHSビデオテープ)への適用。

3. 研究の方法

(1) フォーカス微動抑制処理の開発

平滑化処理

画像の画素値の単純平均を計算することで画像に対して平滑化処理を行いボケ画像を作成する。ボケ画像は次の画像鮮鋭化処理で使用される。

画像鮮鋭化処理

基本的には、空間周波数の特定の周波成分を強調することによって実現する。具体的には、画像の特定周波成分を空間フィルタの一種であるラプラシアン・フィルタで計算し原画像に加える方法であるアンシャープマスク処理を用いる。本処理を行う過程で、で生成したボケ画像を用いる。

相互相関関数による画像類似度評価

動きによる変化を緩和する目的で画像を複数枚を合わせた平均画像（本処理では原画像に対して前後1フレームの計3枚の画像を用いて平均画像を作成した）と原画像に対して鮮鋭化強調係数を変化させた複数の画像を比較することで、原画像に対する

フレーム前後画像とのフォーカス変化の程度を比較・推定した。具体的には、この判断をする為に画像の相互相関関数を利用した。この評価関数は、評価値（相関係数）が1.0に近ければ2つの画像間が同一であり、類似性的に同一のものであると言えるが、評価値関が0.0に近い場合は画像類似的に無関係のものであると考えられる。つまり、1.0に近いほど比較対象に似ていて、逆に0.0に近いほど比較対象に似ていないことが数値的に評価できる。

具体的な手順は、原画像に対してその前後のフレーム画像を合わせて平均した画像と原画像に対しての鮮鋭化処理（ここで鮮鋭化強調係数をとする）を施した画像とを比較し、両画像の相互相関関数による画像類似度評価値を算出して、両者の鮮鋭度の違いを調べる。ここでが大きい（強調画像）場合に評価値（相関係数）が最大である場合は、原画像は鮮鋭化が強すぎると判断できるので、原画像を-の係数でによる画像鮮鋭化処理をしてあげれば良いことになる（マイナス値で強調するということは、画像をボケさせるという意味である）。一方、が小さい場合に評価値（相関係数）が最大である場合は、原画像はボケでいると判断できるので、原画像を+の係数でによる画像鮮鋭化処理をしてあげれば良いことになる。

図6と図7を用いて説明を補足する。図6には、原画像、原画像に対して1フレーム前の画像、原画像に対して1フレーム後の画像、及びこれら3つの画像の平均画像を示す。

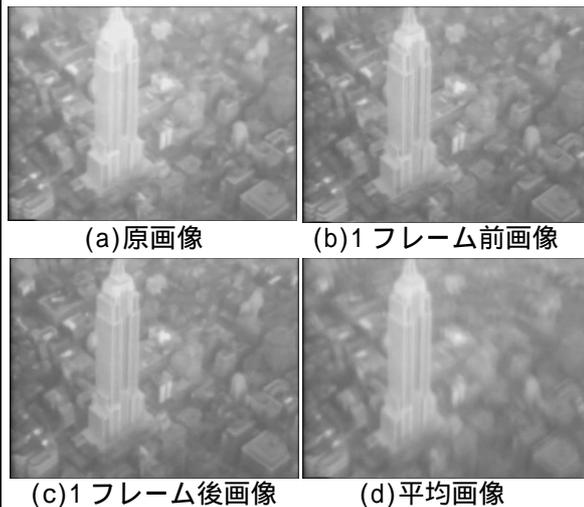


図6. 各フレーム画像と平均画像

また、図7には、図6(a)の原画像に対して、鮮鋭化処理における鮮鋭化強調係数を変化させた時の画像を示す（=0.0の時は原画像そのもの）。

平均画像から作成した図7の(a)~(f)および原画像そのものと、平均画像との画像相互相関係数（評価値）を計算し、評価値が最大となるを探索する。そして、その最大を与えるのマイナス値を用いて、原画像に対し

て画像鮮鋭化処理を行い、その出力結果をフォーカス微動が抑制された修復画像として用いる。以下、フレーム毎にこの処理を繰り返すが、1つ前のフレーム画像は修復後の画像を再帰的に用いる。なお、最初と最後のフレームは処理を行わない。また、以前に筆者が開発したシーン解析を利用し、シーン毎に本処理を行うものとする。

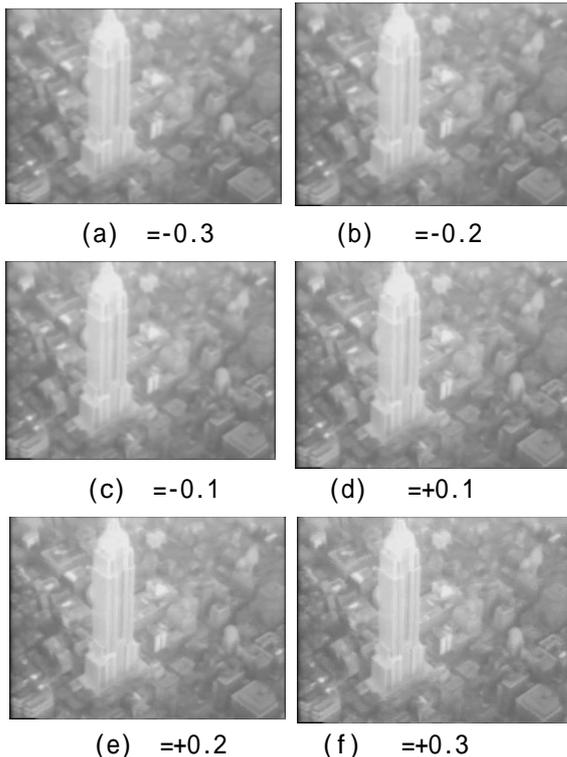


図7. 鮮鋭化強調係数 変化画像

(2) 5つのノイズ抑制処理の統合

開発した5つのノイズ抑制処理をひとつに統合する。処理順序は、処理間の干渉(除去されていない他のノイズが目的とするノイズ抑制処理に影響を与える)を防止するように決める必要がある。その結果、すでに図5で示した通り、フリッカー補正 ブロッチノイズ抑制処理 スクラッチノイズ抑制処理 フレームの揺れ補正 フォーカス微動の抑制処理の順番で処理することが最適であることがわかった。なお、予め最初に、シーン検出を行っておき、各処理はシーンごとに行うものとする。

(3) 高速化検討

処理の高速化を図るにあたり、以下に示すアルゴリズム的な高速化とソフトウェア的な高速化を検討した。

アルゴリズムの高速化

各処理の中では、ボケマスク処理を何度か使用しており、大きな演算時間を要している。そこで、単純平均によるマスク処理の高速化を図った。

図8に、横方向にマスク内の合計値を計算する過程を示す。座標 $b(x+1,y)$ のマスクの合計値を計算するに当たり、 x 軸方向に-1

の座標 $a(x,y)$ のマスクの合計値を利用する事で計算回数を減らすことができる。また、座標 b マスク合計値=座標 a マスク合計値 + $B-A$ で求めることができ、演算回数が少なく済む。縦方向についても同様に行うことで高速化が図られる。

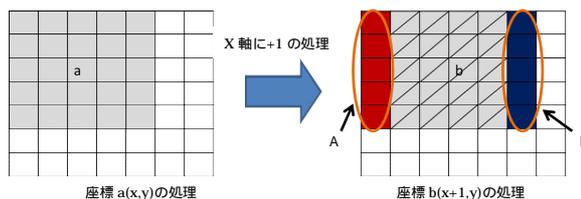


図8. 横軸方向のボケマスク高速画像計算法

アルゴリズムの高速化

各処理で使用する必要な画像サイズを検討し、画像の間引きを行った。基本、原画像の1/4サイズに縮小しても結果に大きな変化がなかったが、ブロッचノイズ抑制処理のみ、1/2縮小サイズの使用とした。

ソフトウェアの高速化

全面的にポインター使用により、特に画像の2次元配列の捜査において高速にアクセスできるようにコード(C言語)を書き換えた。ただポインター化するだけでは高速化することはできない。ポインターを利用してメモリへのアクセス回数や乗算回数を減らすことで高速化につながる。

下記は、配列を単純にポインター化した場合のソースコードである。

```
P=&[0][0]; s=0;
for(i=0; i<2000; i++){
for(j=0; j<2500; j++){
S+=(P+2500*i+j);
}}
```

一方、下記は、乗算を減らすように書き換えたソースコードである。

```
P=&[0][0]; s=0;
for(i=0; i<2500*2000; i++){
S+=*p;
P++;}
```

それぞれの演算回数を表1に示す。表1から、演算時間に短いインクリメント命令のみの追加で、乗算命令をなくし、加算命令も1/3に減らすことができ大幅に高速化が図られる。

表1 ポインタの計算回数の比較

	ループの回数	加算の回数	乗算の回数	インクリメントの回数
ポインタのみ	500万	1500万	500万	0
改良後	500万	500万	0	500万

ソフトウェアの高速化

コンパイラの最適化により、高速化を図った。Microsoft社のMicrosoft Visual StudioのコンパイラからIntel社のコンパイラに切り替え、またコンパイラオプションの最適化を図った。

ソフトウェアの高速化
並列処理により高速化を図った。単純に、動画の全フレームを時間的に4分割し、それぞれに分割された時間帯の動画を各CPUに割り当てて処理させる。一方、画像を4分割して、それぞれの分割された領域ごとに、各CPUに計算させる方法(1CPUはちょうど1/2サイズの画像を並列的に処理することになる)も考えられるが、画像中を4分割すると繋ぎ目の処理が必要となるため、今回は前者の方法を用いた。いずれの方法でも理論上は4倍高速化できる。

(4) 経年劣化フィルム向け統合ノイズ抑制システムの開発

上記(1)~(3)で開発した経年劣化フィルム向け高速化統合ノイズ抑制処理をシステム化し、誰でも簡単に利用可能なアプリケーションソフトウェアを開発する。本ソフトウェア開発の目的は、市販のパッケージソフトと同様、GUI画面を通して、誰でもが簡単に操作できるアプリケーションとして提供可能なこととした。



図9. ノイズ抑制システムのGUI操作画面

図9に開発した経年劣化フィルム向け統合ノイズ抑制システムのGUI操作画面の一例を示す。

(5) 民生用ビデオ映像向けノイズ抑制処理の開発

経年劣化フィルム向けに開発してきたノイズ抑制システムをビデオ動画に適用したところ、新たに4種類の特有なノイズがあることがわかった。そこで、これらのノイズに対応した処理を追加した。

ブロックノイズ抑制処理

図10に示すように、8×8ピクセルの右端部分と両端のピクセルの画素値を平均化し、縦全体のピクセルの平滑化処理を行う。8ピクセル毎処理し、その後は左端部分、その後は最上、最下を平滑化する。いわゆる、ブロック境界を平滑化する後置フィルタと呼ばれる処理を施す。

スイッチングノイズ抑制処理

同じ場所に恒常的にノイズが起こるため、単純に最下部数ピクセルを黒で塗りつぶすことにより、見た目を損なわずに

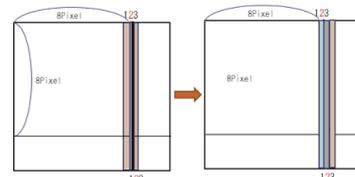


図10. ブロックノイズの抑制

修正をすることができる。この処理は任意のフレームを選択し、手動で1枚だけスイッチングノイズの場所をGUI操作で指定する。

手ブレ補正処理

フレーム揺れ抑制処理だけでは動きの大きいところで誤作動が起きてしまうので、その間に補間する画像を挿入することで精度を向上させた。その上で、動き補償処理を行い、大きな変動があっても追従できるようにした。

逆光補正処理

ガンマ補正を適用し、逆光補正として用いた。逆光画像かどうかの判断は、画像の濃度ヒストグラム分布から、所定幅離れた高輝度および低輝度の値に、分布のピークを持つ場合を逆光画像として認識した。逆光画像と判断した場合は、ヒストグラムの中央値~低輝度を与える輝度部分のガンマを2.0程度と高くする非線型な階調曲線を施し階調補正を行う。

(6) ビデオ向け専用ノイズ抑制システムの開発

前記(4)の経年劣化フィルム向け統合ノイズ抑制システムをベースとして(6)で開発した民生用ビデオ映像向けノイズ抑制処理を組み込んだ。GUIとしては同等なものである。なお、本ソフトウェアは、(4)と区別して民生用ビデオ向け専用であり、経年劣化フィルム向け用には、(4)を用いる。すなわち、用途に応じて、いずれかのソフトウェアを利用するものである。

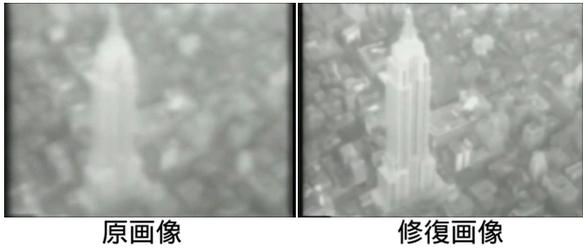
4. 研究成果

(1) フォーカス微動抑制処理の性能評価

図11に示すの画像がフォーカス微動抑制処理を行った画像の例である。ボケ過ぎているシーンは鮮鋭化され、逆に鮮明になり過ぎているシーンは平滑化されていることがわかる。

また、図12には、原画像に対して鮮鋭化強調係数を変化させて画像鮮鋭化処理した時の画像と平均画像との相互相関値の一例を示す。この例では、=0.0でピークとなっているので、原画像にはフォーカス変動はないと判断され、修復処理は行われない。

視覚的に曖昧な判断で画像の差異を見極めるのではなく、相互相関係数という数値での確に抑制処理を行うことができた。動画



原画像 修復画像



原画像 修復画像

図 11 . フォーカス微動の修復結果

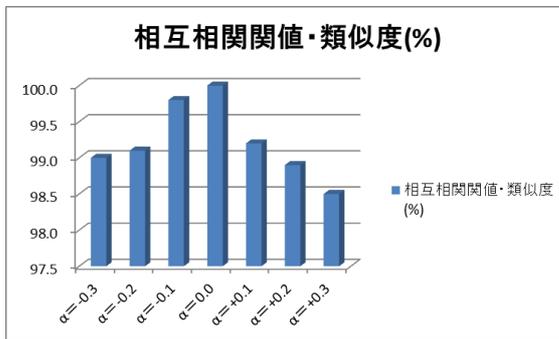


図 12 . 画像類似度評価

中のボケ過ぎているところや鮮明になり過ぎている画像を処理したことによりフォーカス微動を抑制した動画を作成することができた。

(2) 経年劣化フィルム向け統合ノイズ抑制システムの性能評価

経年劣化フィルム向け統合ノイズ抑制システムを用いて、実際の経年劣化フィルムの修復を行った。用いたフィルムは、放映 30 分間の長さで、(30×60)秒×24 コマ/秒 = 43200 枚の画像を対象とした。用いた計算機は、Pentium Corei7 プロセッサ、クロック 3.2GHz、8GB メモリーの PC を 4 台用い、2.(3) で説明した方法で並列化処理により実行した。

結果として、処理時間は 5 時間ちょうどを要した。すなわち、1 画像あたり約 1.7 秒の処理であるが、4 CPU により理論値に近い約 4 倍のスピードで並列演算できていることがわかった。また、目立ったノイズは除去できており、ノイズ抑制効果としても良好な結果を得ることができた。2 時間を超えるフィルム映像であっても、4 台の PC を並列利用すれば、約 1 日 (5 時間×約 4 倍 = 20 時間) の所要時間でノイズ抑制処理が可能であり、実用的なシステムを提案できたともとの

考える。

(3) ビデオ向け専用ノイズ抑制システムの性能評価

ビデオ映像向け統合ノイズ抑制システムを用いて、実際の経年劣化フィルムの修復を行った。用いたフィルムは、放映 30 分間の長さで、(30×60)秒×30 コマ/秒 = 54000 枚の画像を対象とした。用いた計算機は、前述と同じスペックの PC を 4 台用い、並列化処理により実行した。

結果として、処理時間は 6 時間ちょうどを要した。すなわち、1 画像あたり約 1.6 秒の処理であるが、4 CPU により理論値に近い約 4 倍のスピードで並列演算できていることがわかった。また、画質的にはまだ十分とは言えないが主なノイズは除去できていることが確認された。2 時間を超えるビデオ映像であっても、4 台の PC を並列利用すれば、約 1 日 (6 時間×約 4 倍 = 24 時間) の所要時間でノイズ抑制処理が可能であり、実用的なシステムを提案できたともとの考える。今後の課題としては、不十分であったビデオ系映像に対するノイズ抑制処理の改善があげられる。

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)

〔雑誌論文〕

なし

〔学会発表〕

なし

〔図書〕

なし

〔産業財産権〕

なし

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.ele.kanagawa-it.ac.jp/~takeo/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

武尾 英哉 (TAKEO HIDEYA)

神奈川工科大学・工学部・教授

研究者番号：90434414

(2) 連携研究者

齊藤 隆弘 (SAITOH TAKAHIRO)

神奈川大学・工学部・教授

研究者番号：10150749

小松 隆 (KOMATSU TAKASHI)

神奈川大学・工学部・助手

研究者番号：80241115