

博 士 学 位 論 文

内 容 の 要 旨

及 び

審 査 の 結 果 の 要 旨

第 21 号

平成 31 年 3 月

足 利 大 学

は し が き

本号は学位規則（昭和28年4月1日文部省令第9号）第8条による公表を目的として、平成31年3月期に本学において博士の学位を授与した者の論文内容の要旨及び論文審査結果の要旨をここに公表する。

目 次

学位の種類	学位記番号	氏 名	論 文 題 目	頁
博士(工学)	博甲第16号	小 島 範 子	確率共鳴による厳しい照明環境下の画像 強調法に関する研究	………… 1
博士(工学)	博甲第17号	HSIAN SAGR HADI A	Development of Fabrication Process Using Suspension and Solution Plasma Spray for Titanium Oxide Photovoltaic Device (サスペンション溶射及び液相前駆体溶射を用いた 酸化チタン光電素子製造プロセスの開発) ……	7

氏名(本籍)	^{コジマ} 小島 ^{ノリコ} 範子 (群馬県)
学位の種類	博士(工学)
学位の番号	甲第16号
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
学位授与の日付	平成31年3月19日
学位論文題目	確率共鳴による厳しい照明環境下の画像強調法に関する研究
学位論文審査委員	主査 足利大学教授 山城光雄 副査 足利大学教授 荘司和男 副査 足利大学教授 安藤康高 副査 足利大学教授 櫻井康雄

論文内容の要旨

近年、セキュリティ分野では顔や人物などの検出・認識が防犯システムに関連して注目されている。入退管理システムや空港などのテロ対策に利用し、特定の人物の早期発見などに活用できれば犯罪を未然に防ぐことも期待できる。そこで本研究では、「顔検出」に注目している。しかし、防犯カメラなどから得られる画像では様々な厳しい撮影条件により、画像から検出すべき対象を簡単に判別できないケースがある。本研究で扱う「様々な厳しい撮影条件」の画像は、「暗い」、「背景に様々なイルミネーションがある」、「逆光」、「ハレーション」、「フレアーやゴースト」に大別できる。こうした画像を鮮明にする方法として従来からコントラスト調整法があるが、厳しい撮影条件の画像を強調できず、顔検出できないケースが多々あること確認した。そこで厳しい撮影条件の画像から検出対象を鮮明にする方法のとして、確率共鳴(SR: Stochastic Resonance)を利用した画像強調法を提案し、有効性について明らかにした。

第1章では、序論で本研究の背景や従来の研究や関連する研究について述べ、本研究の概要を述べている。

第2章では、SRについて原理と提案手法のマニュアルで行った実験について述べている。SRは、オリジナルの微小な信号に適切なカウシアン白色ノイズを加えることで、信号の振幅が増幅され、ピーク時に閾値を超える確率を高め、隠れた信号を検出する現象である。つまり、ノイズにより隠さ

れた情報を検出することを意図する。SRを利用した画像強調法を提案し、顔検出を用いた実験から有効性を明らかにした。実験には、Lamsal's face detector (Lamsal 法) を使用した。本章ではノイズと閾値をマニュアルチューニングしている。

第3章では、前章で述べた提案手法のオートチューニング化について述べている。SRによる画像強調法では、付加するノイズと閾値が重要であるが、前章で実験からマニュアルによる調整の難しさが示された。そこで、SR処理をオートチューニングする手法を提案する。本手法は画像のMeanとMedianを算出し、これに関する条件を満たすまでSR処理を繰り返す。Viola Jones Face detector (V-J法)によるOpenCVとLamsal 法の2つの顔検出器を用いて実験をし、有効性を検証した。また、本手法を顔以外にも応用できるか検証するため、人体検出の実験を行った。実験ではOpenCVの検出器を用いて、本手法とコントラスト調整法の比較を行い、有効であるか検証した。

第4章では、提案手法の応用や幅広い方面で扱うための評価について検証している。第3章までに、検出器を用いた実験からSRの画像強調への有効性が示された。しかし、本手法を様々な方面で応用するため、検出器以外の客観的な評価が必要である。そこでPQM (Perceptual Quality Metric) による画像品質メトリックを用いて客観的な評価実験を行った。PQMは画像の品質を定量化するメトリックで、1～10段階評価で10が最も高品質であることを示す。顔や人体の検出器を用いた実験とPQMの結果を比較し検証した。

第5章は結論で、研究全般の考察、並びに研究成果をまとめている。

Study on the Image Enhancement Method of Severe Lightning Environments

by Stochastic Resonance

Noriko Kojima

Summary

In recent years, detection and recognition of faces and human bodies have attracted attention as to the security system in the security field. If it can be used for early detection of a specific individual by using it for entry/exit management systems and in terrorism countermeasures at airports, it can be expected to prevent crime beforehand. Therefore, we focused on face detection in this research. However, with images taken by security camera, there are cases in which the subject to be detected from the image is not easily identifiable due to various severe photographing conditions. In this research, Images taken under "severe photographing conditions" can be roughly broken down to dark images, images with variant background illumination, backlit images, halation images, and flare/ghost images. This image classification is used generally throughout the field of camera photography. Conventionally, there is a contrast adjustment as a method for clarifying a detection subjects from an image of severe photographing conditions. However, there are cases where images cannot be properly enhanced by contrast adjustment, and there are many cases where faces cannot be detected. Therefore, this research proposes an image enhancement method using stochastic resonance (SR) as a method to clarify the detection target from images with severe photographing conditions. The effectiveness of this method is clarified.

Chapter 1 describes the outline of this research and the conventional research in the introduction.

Chapter 2 describes the principle of the SR methodology and the experiment of the proposed method. SR amplifies the amplitude of the signal by adding appropriate Gaussian white noise to the original minute time series signal. This is a phenomenon that detects the hidden signal by increasing the probability that the peak exceeds the threshold at the peak. That is, it is intended to detect hidden information by adding noise. The proposed method is an image enhancement method using SR. Effectiveness is clarified from experiments by face detection. The Lamsal's face detector is used for the experiment. In this chapter, noise and threshold are manually adjusted.

Chapter 3 describes auto-tuning of the proposed method described in the previous chapter. In SR, the noise and threshold to be added are important. However, the difficulty of manual tuning was shown from the experiment in the previous chapter. Therefore, this chapter proposes a method of

auto-tuning SR. In this method, the mean and median are calculated after the original SR processing. If the mean and median satisfy the conditions, the SR processing is ended. The experiment uses the Lamsal's face detector and the Viola Jones face detector in OpenCV. The effectiveness of the method is clarified. In addition, this chapter is experimenting with a human body detector as a detector other than a face. For the experiment, the detector of OpenCV was used. The effectiveness is clarified by comparing the proposed method and the contrast adjustment.

Chapter 4 describes evaluation criteria for applying the proposed method to various things. By the third chapter, experiments using detectors showed the effectiveness of SR for image enhancement. However, objective evaluation criteria other than detectors are required for applications. Therefore, experiments using Perceptual Quality Metric (PQM) are carried out. PQM is an objective evaluation metric. PQM quantifies image quality. Evaluation is 1 to 10 levels, 10 is the highest quality. In the experiment, the results of PQM and face and human detector are compared and verified.

Chapter 5 describes the conclusions, summarizes the study considerations and results.

In this study, the proposed method auto-tuning SR parameters using SR modified for image enhancement. This study demonstrated the effectiveness of experiments using face and human detectors, objective evaluation in PQM, and the methods. From the experimental results on images taken under severe photographing conditions, confirmed that the proposed SR parameter auto-tuning system is effective. Comparison with the contrast adjustment method showed that the proposed method can reduce face detection error. There was also an effect of improving the detection accuracy of the detector. The SR method may be applied to various fields using images. The proposed method is useful for image processing systems that rely on image enhancement.

論文審査結果の要旨

1. 論文の内容と価値

近年、セキュリティ分野では顔や人物などの検出・認識が防犯システムに関連して注目されている。入退管理システムや空港などのテロ対策に利用し、特定の人物の早期発見などに活用できれば犯罪を未然に防ぐことも期待できる。そこで本研究では、「顔検出」に注目している。しかし、防犯カメラなどから得られる画像では様々な厳しい撮影条件により、画像から検出すべき対象を簡単に判別できないケースがある。本研究で扱う「様々な厳しい撮影条件」の画像は、「暗い」、「背景に様々なイルミネーションがある」、「逆光」、「ハレーション」、「フレアやゴースト」に大別できる。こうした画像を鮮明にする方法として従来からコントラスト調整法があるが、厳しい撮影条件の画像を強調できず、顔検出できないケースが多々あること確認した。そこで厳しい撮影条件の画像から検出対象を鮮明にする方法のとして、確率共鳴 (SR: Stochastic Resonance) を利用した画像強調法を提案し、有効性について明らかにした。

第1章では、序論で本研究の背景や従来の研究や関連する研究について述べ、本研究の概要を述べている。

第2章では、SRについて原理と提案手法のマニュアルで行った実験について述べている。SRは、オリジナルの微小な信号に適切なカウシアン白色ノイズを加えることで、信号の振幅が増幅され、ピーク時に閾値を超える確率を高め、隠れた信号を検出する現象である。つまり、ノイズにより隠された情報を検出することを意図する。SRを利用した画像強調法を提案し、顔検出を用いた実験から有効性を明らかにした。実験には、Lamsal's face detector (Lamsal 法)を使用した。本章ではノイズと閾値をマニュアルチューニングしている。

第3章では、前章で述べた提案手法のオートチューニング化について述べている。SRによる画像強調法では、付加するノイズと閾値が重要であるが、前章で実験からマニュアルによる調整の難しさが示された。そこで、SR処理をオートチューニングする手法を提案する。本手法は画像のMeanとMedianを算出し、これに関する条件を満たすまでSR処理を繰り返す。Viola Jones Face detector (V-J法)によるOpenCVとLamsal 法の2つの顔検出器を用いて実験をし、有効性を検証した。また、本手法を顔以外にも応用できるか検証するため、人体検出の実験を行った。実験ではOpenCVの検出器を用いて、本手法とコントラスト調整法の比較を行い、有効であるか検証した。

第4章では、提案手法の応用や幅広い方面で扱うための評価について検証している。第3章までに、検出器を用いた実験からSRの画像強調への有効性が示された。しかし、本手法を様々な方面で応用するため、検出器以外の客観的な評価が必要である。そこでPQM (Perceptual Quality Metric) による画像品質メトリックを用いて客観的な評価実験を行った。PQMは画像の品質を定量化するメ

トリックで、1～10段階評価で10が最も高品質であることを示す。顔や人体の検出器を用いた実験とPQMの結果を比較し検証した。

第5章は結論で、研究全般の考察、並びに研究成果をまとめている。

本研究では、画像強調向けに改良したSRを用いて、SRパラメータをオートチューニングする画像強調法を提案した。顔や人体検出器を用いた実験、PQMによる品質評価を行い、有効性を検証した。「様々な厳しい撮影条件」の画像に対する実験から、提案するSRパラメータのオートチューニングシステムが機能することを確認した。また、コントラスト調整法との比較から、誤検出や検出不足などのエラーの低減、検出器の組合せから検出精度の向上などSR手法の有効性を示した。SR手法は、画像を使用する様々な分野に適用する可能性がある。提案手法は、画像強調に依存する画像処理システムの有効性を高めるのに有用である。

2. 論文審査の結論

本学位申請論文に対して、平成30年10月4日の情報・生産工学専攻による予備審査、平成30年12月21日(金)の審査委員会（主査：山城光雄教授、副査：荘司和男教授、安藤康高教授、櫻井康雄教授）による本審査（最終審査）を経て、平成31年2月9日に公聴会を開催し、十分審議され、かつ検討された。公聴会（出席者は20名）終了後、審査委員会を開き審議した結果、本論文は学術的に価値があり、工学の面から見て有用性があると認められた。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として十分な価値を有するものと認められ、審査委員会全員一致で合格と判定した。

氏名(本籍)	^{フセイ} ン ^{サカル} ^{ハアディ} ^{アリ} HSIAN SAGR HADI A (サウジアラビア)
学位の種類	博士(工学)
学位の番号	甲第17号
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
学位授与の日付	平成31年3月19日
学位論文題目	Development of Fabrication Process Using Suspension and Solution Plasma Spray for Titanium Oxide Photovoltaic Device (サスペンション溶射及び液相前駆体溶射を用いた酸化チタン光電素子製造プロセスの開発)
学位論文審査委員	主査 足利大学教授 安藤 康 高 副査 足利大学教授 中 條 祐 一 副査 足利大学教授 小 林 重 昭 副査 足利大学教授 莊 司 和 男

論文内容の要旨

色素増感太陽電池 (Dye sensitized solar cell: DSSC) は、光触媒材料を光電素子に用いた太陽電池であり、多孔質の光電素子を使用し様々な皮膜形成技術を利用する事ができることから、安価に製品化できる太陽電池としてその普及が期待されている。

光触媒材料としては、アナターゼなどの酸化チタンが主として用いられており、酸化チタン皮膜の形成方法として、スパッタ法、CVD法、スプレー熱分解法、ゾル・ゲル法などが実用化されている。しかしながら、スパッタ法、CVD法、ゾル・ゲル法は、真空装置や液槽を用いることによる基材の寸法制限や低い皮膜形成速度、スプレー熱分解法は高い基材温度による基材の酸化や劣化など、これらのプロセスにはいくつかの問題点が存在する。

一方、熱プラズマを用いる大気プラズマ溶射 (Atmospheric plasma spray: APS) は、熱プラズマが形成する高温場により上流部で原料物質を溶融もしくは活性化できるため、下流に設置した低温の基材上にも高速 (数百 μ /hオーダー) に皮膜を形成する事ができるうえ、開放大気下での施工が可能で基材の寸法制限が無い場合、大型構造物上への皮膜形成も可能である。特に、サスペンション溶射 (Suspension plasma spray: SPS) や液相前駆体溶射 (Solution precursor plasma spray: SPPS) などの液相溶射は、微粒子や金属アルコキッドを出発原料に用いるため皮膜の微細組織制御が可能であり、機能性皮膜形成技術として電子材料製造プロセスとして研究が進められている。しかしながら

SPSは微粒子を分散させたサスペンションを出発原料に用いることから、微粒子の沈降が生じるため原料供給が不均一になり皮膜の品質管理が難しく、SPPSは霧状の出発原料をプラズマジェットに投入するためには高流量のキャリアガスを流す必要があり、キャリアガスによるプラズマジェットの冷却及び失活に起因する皮膜品質の低下が生じるなど、出発原料供給の面で問題を抱えている。

本研究では、SPSやSPPSを用いたDSSC用高品質酸化チタン光電素子形成プロセスの実用化を目的として、独自に開発した超音波振動式液相出発原料供給装置を組み込んだAPS装置を開発し、本APS装置を用いた酸化チタン皮膜形成を行った。

第1章では、本研究の背景、従来の研究、本研究の目的と論文構成について述べた。

第2章では、超音波振動式液相出発原料供給装置、APS装置の概要、酸化チタン皮膜形成条件（初期条件）及び皮膜評価方法（光学顕微鏡観察、X線回折、光触媒特性評価試験など）について述べた。実験条件は、出発原料供給装置の超音波振動周波数は1.7MHz、キャリアガスはAr（流量1.6～2L/min.）であり、作動ガスはAr（流量1～5L/min.）とした。溶射距離は20～100mmまで変化させ、溶射時間は15分であった。

第3章では、SPSによる酸化チタン皮膜形成結果について述べた。従来のSPSでは、酸化チタン微粒子を溶媒に分散させたサスペンションを使用してきたが、微粒子製造工程及び微粒子の溶媒への分散工程を経るため製造コストが高いという問題がある。それゆえ本研究では、チタニウムテトライソブトキシド（ $\text{Ti}(\text{OC}_4\text{H}_9)_4$, TTIB）の加水分解によって生成された水酸化チタンサスペンションを出発原料に使用した。その結果、上記水酸化チタンサスペンションによる酸化チタン皮膜形成が可能であること、またコロイド状にすることによりエアブラシによる原料供給が可能であることが明らかとなった。

第4章では、出発原料容器に超音波振動装置を取り付けSPSによる酸化チタン皮膜の形成を行った。その結果、超音波振動がサスペンションを常時攪拌することにより、サスペンション中の微粒子の沈降が抑制されることも明らかとなった。形成された皮膜は、光学顕微鏡による微細構造観察およびX線回折から、アナターゼ主体の多孔質酸化チタン皮膜が形成されることがわかった。

第5章では、SPPSによる酸化チタン皮膜形成結果について述べた。上述のTTIBをエタノールにて希釈した液相前駆体を出発原料に用いた。その結果、溶射距離を離すに従いルチル主体の皮膜からアナターゼ主体の皮膜に変化し、溶射距離の制御により皮膜結晶構造の制御が可能であることがわかった。更に、メチレンブルー脱色試験により、形成されたいずれの酸化チタン皮膜も光触媒特性を有していることが確認された。

第6章では、本研究で得られた主な知見をまとめて説明し、今後の展望と課題についても述べた。

Development of Fabrication Process Using Suspension and Solution Plasma Spray for Titanium Oxide Photovoltaic Device

HSIAN SAGR HADI A

Dye sensitized solar cell (DSSC) is a solar cell using photo-catalytic material as photo-voltaic device. Since DSSC can use porous material as photo-voltaic device, various processes can be applied and production cost can be very low in comparison with the conventional solar cell. As the photo-catalytic material, titanium oxide has been mainly used. As for the deposition process of the titanium oxide film, sputtering, CVD, sol-gel method and spray pyrolysis has been practically used. However, these processes have some disadvantages such as limitation of substrate dimension due to dimension of vacuum chamber and water bath, low deposition rate (in cases of sputtering, CVD and sol-gel method) and oxidation and deterioration of substrate due to high substrate temperature during operation (in the case of spray pyrolysis).

On the other hand, since atmospheric plasma spray (APS) using thermal plasma can activate and melt the feedstock material due to high temperature field of the thermal plasma upstream of the plasma, low temperature film deposition can be conducted downstream of the plasma with high deposition rate. Besides, limitation of the substrate dimension do not need to be taken into account because vacuum chamber and water bath are not necessary. Therefore, APS can be used for large structure such as bridges and gas turbines. Especially, since atmospheric plasma spray techniques using liquid feed stocks such as suspension plasma spray (SPS) and solution precursor plasma spray (SPPS) can deposit films with controlling the microstructure of the films, these processes are hoped to be processes for functional films. However, sedimentation of the particles in suspension is very serious problem in the case of SPS and cool down of the thermal plasma due to high flow rate carrier gas in the case of SPPS is also serious problem. These problems have been interrupting the application of SPS and SPPS to fabrication processes of photo-voltaic devices of DSSCs.

In this study, in order to develop fabrication processes of photo-voltaic devices of DSSCs using SPS and SPPS, APS equipment using feedstock storage system with ultrasonic vibrator was developed and titanium oxide film deposition by the developed APS equipment was carried out. This APS equipment can be used as both of SPS and SPPS equipments.

In chapter 1, background and purpose of this study was explained.

In chapter 2, experimental procedures were explained.

In chapter 3, experimental results of titanium oxide film deposition by SPS in the case of feedstock storage system without ultrasonic vibrator were explained. It was proved that titanium hydroxide suspension created by hydrolysis of titanium tetra iso butoxide (TTIB) was available as the feedstock for titanium oxide film deposition and colloidal suspension can be fed by low price air brush instead of the conventional expensive suspension feeder.

In chapter 4, experimental results of titanium oxide film deposition by SPS in the case of feedstock storage system with ultrasonic vibrator were explained. By addition of the ultrasonic vibrator, sedimentation of the particles in the suspension was dramatically diminished and film deposition rate was promoted.

In chapter 5, experimental results of titanium oxide film deposition by SPPS in the case of feedstock storage system without ultrasonic vibrator were explained. By addition of the ultrasonic vibrator, carrier gas flow rate could be decreased.

In chapter 6, the overall results obtained from the current research were summarized and the scope of future work were presented.

論文審査結果の要旨

1. 本論文の内容と評価

本博士論文は、安価な低出力溶射装置を用いたサスペンション溶射 (Suspension plasma spray: SPS) 及び液相前駆体プラズマ溶射 (Solution precursor plasma spray: SPPS) の開発経緯を纏めたものであり、当該研究では下記技術の開発に成功している。

<SPS技術関連>

1) 安価なサスペンション製造技術の開発

従来は、製造した微粒子を溶媒に分散させることによりサスペンションを製造したため、製造コストの高さが問題となっていた。本研究では、チタニウムテトライソブトキシド (Titanium tetra isobutoxide: TTIB) の加水分解により水酸化チタンサスペンションを製造し、製造コストの大幅な低減に成功した。

2) 安価なサスペンション供給装置の開発

エアブラシを用いた場合には、微粒子は吸引されず溶媒のみが供給されたため、従来のSPSでは高価な高圧注入式のサスペンション供給装置を用いる必要があった。本研究では、上記水酸化チタンサスペンションをコロイド状にすることにより、エアブラシによるサスペンションのプラズマジェットへの供給が可能になり、サスペンション供給系の大幅なコスト低減を可能にした。

3) 超音波振動子付き原料容器を用いたサスペンション供給系の開発

コロイド状サスペンションの使用により、エアブラシによるサスペンション供給は可能になったが、サスペンション中の微粒子の沈降による微粒子供給量の不均一が依然問題点として残されていた。しかし、原料容器に超音波振動子を装着することにより、微粒子の沈降は抑制され、形成された皮膜の品質向上を図ることに成功した。また、超音波振動が微粒子の縮重合を促進し、形成された皮膜の結晶化促進にも有効に働くことを明らかにした。

<SPPS関連>

1) 超音波振動子を用いたTTIB噴霧技術の開発

SPPSの出発原料であるTTIBは、空気中の水分により加水分解を起こすため、容器内TTIBの加熱による気化や超音波振動によるミスト化が困難とされ、これまでマイクロチューブポンプ等によりプラズマジェットへ供給されてきた。そのため、原料供給量の低減を図る事が困難であり、出発原料の過剰供給が問題となっていた。本研究では、容器ごと超音波振動をかけるのではなく、TTIB液滴を

超音波振動子に滴下することにより、液滴の一部は加水分解し水酸化チタンとなるものの、TTIBミストの形成に成功した。その結果、液滴のままプラズマジェット中を飛行するTTIBは皆無となり、皮膜品質も向上した。

以上、SPS、SPPSの実用化を促進する上で数々の有益な知見が得られた。

2. 論文審査の結論

本学位論文に対して、平成30年10月4日の情報・生産工学専攻による予備審査、平成30年12月20日の審査委員会（主査：安藤康高教授、副査：中條祐一教授、小林重昭教授、荘司和男学長）による本審査（最終試験）が行われ、平成31年2月9日に公聴会を開催した。公聴会（出席者18名）では、SAGR氏によるプレゼンテーション及び質疑応答がなされ、終了後の審査委員会にて、本論文は学術的に価値があり、工学の面から見て有用性があると認められた。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として十分な価値を有するものと認められ、審査委員会全員一致で合格と判定した。