

氏名（本籍）	Zedrick Paul L. Tungol（ゼドリック ポール トウンゴル） （フィリピン）
専攻分野の名称	博士（工学）
学位記番号	国博甲第 11 号
学位授与の日付	令和 4 年 3 月 22 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研究科・専攻	国際資源学研究科・資源学専攻
学位論文題目（英文）	3 次元起砕物粒度分布計測のための SfM 自動スケーリングに関する研究 (Automatic Scaling in Structure from Motion Photogrammetry for 3D Fragmentation Size Distribution Measurement)
論文審査委員	(主査) 教授 安達 毅 (副査) 教授 今井 忠男 (副査) 教授 柴山 敦 (副査) 教授 川村 洋平 (北海道大学)

論文内容の要旨

鉱山における岩石破壊手段の一つである発破は様々な種類・硬さの岩石を破砕できるため、ほとんどの採掘現場で利用されている。ただし、その作業の煩雑さと評価の難しさから自動化が望まれつつも一番遅れている部分でもある。発破作業によって生成される発破起砕物（山積みされた破砕後の岩石、モックパイル）の粒度分布は、岩石の運搬や追加破砕など鉱山の様々な作業の効率に大きく影響を及ぼし、操業コストを左右する重要なパラメータである（鉱山の規模にもよるが年間操業で数億円の違いも生じる）。

本論文では SfM によるフォトグラメトリ技術を活用したモックパイルの自動スケーリングシステムの構築を目指している。計算機に人間と同等の視覚機能を持たせることを目的とするコンピュータビジョン分野では、対象物体を様々な角度から撮影した多視点画像を計算機内部で統合し、被写体の新しい 2 次元イメージを生成する Image-Based Modeling and Rendering (IBMR) に関する研究が活発に行われている。本論文ではモックパイルの多視点映像に IBMR を適用することにより、精度と簡便性を両立する粒度分布推定手法の実現に取り組んでいる。このシステムでは発破後に生成されるモックパイルをドローンやスマートフォンといったデバイスを用いてビデオもしくは複数枚の写真を撮影し、GNSS およびスマートフォン IMU により自動スケーリングを実現した。

本内容を全 5 章合計約 60 ページの博士論文にまとめている。博士論文は審査のために審査会の 2 週間前に審査員に手渡されている。十分な Literature Review により本研究の意義と新規性および有用性を論じていると判断された。解析に用いたデータとして、室内実験データから実稼

働の採石場（三倉鼻採石場、秋田県）データまでの広範囲のデータを取得している。これまでも情報工学の分野で理論上では示されていたフォトグラメトリのモデルスケーリングを実規模でも十分な精度で行えることを示している。GPS が使用可能な空間では GPS 誤差の統計的な扱いによる GNSS スケーリング技術を構築し、坑内のような GPS が使えない状況においてはスマートフォンの IMU のひとつである加速度情報を解析することにより高精度な IMU スケーリング技術を構築した。これにより、露天掘り、坑内掘りを問わず実装が可能なモックパイル計測システムの根幹部分を開発した功績は非常に大きいと言える。この点に本論文の高い有用性が認められた。

これらの内容の裏付けとして、1 編の海外雑誌論文に採択、1 件の国際会議で発表がおこなわれており、さらに 2 編は投稿準備中である。よって論文審査の結果は合格とする。

論文審査結果の要旨

本学位審査委員会は、令和 4 年 2 月 9 日（水）16 時 00 分から 17 時 15 分にかけて、Zoom で論文公聴会開催した。安達毅 審査委員会主査、今井忠男 審査委員、柴山敦 審査委員、川村洋平 審査委員の出席のもと、論文の関連事項に関する詳細な質疑応答ならびに口頭による学力確認が行われた。

特に、博士論文で述べられていたフォトグラメトリによる対象物の自動スケーリング技術に関して、

- (1) 寺社での計測実験と三倉鼻採石場での計測実験の誤差に大きな違いがある理由
- (2) 提案システムによって将来的にはどこまで計測誤差を減らすことが可能であるか、またどのような技術革新を考えているか
- (3) 開発した GNSS フォトグラメトリ手法によって、実験では示していない小さな粒子を計測するためにはどうしたらよいと考えているか
- (4) 計測対象の粒子の粒度分布が幅広い場合にも本手法は適用することができるのか
- (5) 特に鉱業において発破起砕物等の粒度分布計測は重要事項であるが、実現場に適用する際に問題となることはなにか、また有利な点はなにか
- (6) フォトグラメトリをスケーリングに用いる際の理論上の最小誤差はどの程度と考えているか
- (7) モックパイル全体のスケーリングだけではなく粒子ごとのサイズ計測の研究内容を示さなかった理由はなにか

などの質問・コメントが出されたが、申請者からは学術的考察にもとづいた明確な回答が示された。

よって公聴会の後に開催した学位審査委員会は、Zedrick Paul L. Tungol 氏が最終試験に合格し、博士（工学）として十分な資格があるものと判断した。