

氏名（本籍）	池田 啓（新潟県）
専攻分野の名称	博士（工学）
学位記番号	国博甲第12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）	鉱山操業における生産性と安全性向上のための坑内掘鉱山内モニタリングシステムに関する研究 (Applied Underground Mine Production and Safety Monitoring Systems)
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

一般に坑内掘鉱山は地下深くに存在することから地下鉱業の企業は照明不良、狭いスペース、落石、換気不良、濡れ、通信の制約、構造の複雑さなどの危険性のもとで操業している。その中で、地下操業における安全性と生産性は企業にとって最大の関心事である。それらを解決するために坑内環境を把握するための様々なモニタリング手法が提案されている。坑内掘鉱山内いくつかのセンサを設置し、気温、湿度、およびガス濃度などといった測定要素を取得することで坑内環境の把握が可能となる。このため本研究では、鉱山操業における生産性と安全性向上のための坑内掘鉱山内モニタリングシステムの開発を行っている。拡張性のある坑内掘鉱山に適した WSNs(Wireless Sensor Networks) の中でも鉱山従事者の動きによる疑似的な通信範囲拡大する Wi-Fi のアドホック通信(Wi-Fi Ad Hoc 及び Wi-Fi Direct)と電力線通信に着目し、データログから鉱山従事者の持つスマートフォンへの通信試験を行い、アドホック無線通信システムの実装と検証を行った。また、センシング対象の一例として原位置岩盤応力のセンシングシステムを考え、位置推定と原位置応力を計測し、前述の通信システムでの実証と検証を行っている。本論文では、「実鉱山での通信性能の調査」、「原位置応力の計測センサユニットの開発」、「坑内掘鉱山内モニタリングシステムの実証試験」に関して行った一連の研究結果と得られた知見を述べている。

本内容を全7章合計約120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。国内の休廃止鉱山である尾去沢鉱山、海外の実験鉱山である Witswatersrand 大学所有の実験鉱山、さらに実稼働状態の Great Noligwa 鉱山（南アフリカ）にて実験機器および通信機器のデータを収集し、解析することで坑内通信に可能性のある

種々の通信の性能を確認している。その中でも世界的にみても坑内では使用された事例がない Wi-Fi Direct の可能性を示唆し、実運用が可能なシステムデザインを最終的に提案している。その最終通信システムデザインでは電力線通信と Wi-Fi Direct を用いた複合通信システムを提唱し、その現場での適用性を検証している。世界的にも例のない坑内掘りに特化した新規性およびオリジナリティのある通信システムデザインを導いたことは本分野における大きな貢献である。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、5 編の雑誌論文（筆頭のみカウント）が採録されている。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）13 時 00 分から 14 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坑内通信システムのデザインに関して

- (1) 予知保全のコンセプトはどのようなものか
- (2) 深部化していく鉱山において増大する安全リスクとはなにか。どのようなリスクを考慮してきていくべきだと考えているか
- (3) 通信によってデータを収集したあとの解析項目とフィードバックといった安全管理システムに対する考えはあるか
- (4) システムを坑内に実装して仮に危険が予知された段階で何をすべきだと考えているか
- (5) 通信のデータ量および通信速度を含めて通信距離の増大は時間遅延を引き起こすのか
- (6) データを収集するデータログからの距離は通信時間に影響を及ぼすのか
- (7) ある特定の鉱山に提案された通信システムを導入しようとした場合、今回の研究結果を用いてモデル化（シミュレーション）する事は可能か

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、池田啓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。