

京都大学	博士（工学）	氏名	君島 健之
論文題目	ucode を用いたコンクリートの品質トレーサビリティの研究		
本研究では、ucode を RF タグに格納したものをコンクリートの品質管理や品質情報システムに活用するため、RF タグへの要求事項を整理した上で、各種性能評価試験を行い最適な RF タグの選定を行うものとした。また、RF タグを活用し、コンクリート強度用供試体の品質管理システム、生コンクリート品質管理情報保証システム、コンクリート製品向けトレーサビリティシステムの構築のため、実証試験、ビジネスモデルの検討を行うこととした。更に、本研究で検討したシステムを活用し、コンクリート構造物のトレーサビリティを確立する為の提言を行った。本論文では上記の検討を実施するのに至った課題として以下の4項目を抽出した。 課題① 現状 コンクリートの品質管理はどのように行われ、技術課題はなにか 課題② 無線情報技術がコンクリート分野に展開できるのか 課題③ コンクリートに埋設しコンクリートの性能を低下させないRF タグはなにか 課題④ 生コンクリート事業への展開への問題はなにか 本研究では課題①については、現状のコンクリートの品質管理の状況調査及び新たな品質管理の動向を踏まえ技術的課題と対策、②については自動認識技術、RFID、コード体系等の調査を実施し、ucode によるコンクリートの品質トレーサビリティの提案を行うこととした。 また、課題③及び④については、RF タグへの要求事項を調査・整理した上で、RF タグ単位の通信性能、耐水性・耐アルカリ性、耐熱性、耐凍結融解性について評価を行うとともに、RF タグをコンクリート中に埋設した場合に RF タグの性能低下に及ぼす影響を確認する。さらに、性能評価試験の結果から最適な RF タグの選定を行い、コンクリート強度用供試体の品質管理システム、生コンクリート品質管理情報保証システム、コンクリート製品向けトレーサビリティシステムを構築した上で、実証試験を行うことで、将来的なビジネスモデル構築の方向性を明確にすることとしている。 第2章では、コンクリートの品質管理の現状、新たな品質管理の動向等を整理した。コンクリートの品質、信頼性の向上および経済性を高めるための品質管理システムの検討・責任範囲の明確化が必要なことを示した。また、コンクリートにおける品質管理でも、様々な技術的課題があることを示した。 第3章では、これまでの自動認識技術、無線式自動認識技術に関する問題点等を整理することで、ucode を格納した RF タグ使用によるコンクリート分野への展開について検討した。 ・ これまでの認証技術の問題点は、バーコード、2次元コードともシンボルが紙に印刷されており、耐水性・耐摩擦性に劣る。コンクリートのトレーサビリティに適用すると想定した場合、風雨による劣化、セキュリティの問題等で適用が困難である。 ・ ucode を格納した RF タグは、コンクリート分野への展開に適しており、それぞれの段階で最新情報を関係者が入力・出力を可能とすることで、トレーサビリティが可能となるシステムの構想図を示した。また、RF タグをコンクリートへ埋設が必要になるため、適用周波数や埋設箇所の考慮が必要なことを示した。 第4章では、セメント・コンクリートへの適用時の RF タグの性能を把握するため、RF タグ単体およびコンクリート中に埋設した場合の試験を行い、以下の結果を得た。 ・ 4つのRF タグの使用条件を明らかにし、各使用条件への要求性能を示した。さらに、各種 RF タグの周波数帯域と要求性能を整理し、水の影響を受けにくいことや寸法性が良好である事、製造メーカーが多いことから、本研究で使用する RF タグの周波数帯を 13.65MHz に選定した。 ・ 選定した周波数帯の RF タグ5種類を、通信性能、耐水性・耐アルカリ性、耐熱性、耐凍結融解性の単体試験を行い、各試験結果から総合評価をまとめた。本研究でコンクリート中に埋設し、長期通信性能が期待できるのは2種類であった。			

- ・ RF タグ埋設のコンクリートの性能評価試験は、通信性能、圧縮強度の影響、耐凍害性、中性化を行った。コンクリートに埋設した場合、耐水性・耐アルカリ性の低下が認められ、コンクリートに使用する場合は試験確認が必要である。φ10×20cm 供試体へ埋設する場合、RF タグが大きく、斜めに埋設した場合に圧縮強度の低下が大きく、供試体上部表面付近への埋設が最適であった。耐凍害・中性化は、RF タグの埋設の影響は認められなかった。

第5章では、コンクリート自体に ucode を格納した RF タグを埋設、またコンクリート打設に携わる複数の事業者間で共有される物品に QR コード（ucode を格納した QR コード：ucodeQR）を貼付することにより個体識別ができ、そのものが移動してもそれ自体もしくはそれに関わる情報をそのものに括りつけることのできるシステムの実証試験を行い、システムを構築した。

- ・ コンクリート強度用供試体 品質管理システムは、生コンクリートユーザーがコンクリート供試体管理を確実にできるトレーサビリティシステムであり、さらに試験の効率化と正確性の向上を可能とするシステムとした。開発したシステムは、生コンクリート工場の実証試験を行い、
 - ①フレッシュ試験データ実施後、データの送信
 - ②RFタグと現場情報との紐付け
 - ③情報紐付け後のRFタグのコンクリート供試体への埋設
 - ④硬化コンクリートにおける、埋設 IC タグ中のデータ読み取りが設定通りに稼動することを確認した。
- ・ また、開発システムのメリット「試験行為への信頼性の向上」及び「公正で厳正な運用の実現」を考慮したビジネスモデルを提案した。主な販売先としては、以下の3ユーザーとした。
 - ①生コンクリート工場
 - ②生コンクリート共同試験所・技術センター（全国で64ヶ所）
 - ③財団法人、民間などの試験所などの中立公正な第三者試験機関（全国で9事業体）
- ・ 生コンクリート品質情報保証システムは、生コンクリート製造者とゼネコン等の施工者で生コンクリートの配合や品質に係わる情報、納入状況などを共有することを容易にでき、品質トレーサビリティのオンデマンド化の実現が可能になるシステムであり、前述した品質管理システムをステップアップさせる形でプロトタイプの開発を行った。
- ・ また、開発システムのメリットは、公共工事では「総合評価落札方式の技術評価ポイントに有利」、民間工事では「使用材料の信頼性向上、公正で厳正な運用の実現」等が挙げ、ビジネスモデルを提案した。主な販売先としてゼネコンとした。
- ・ コンクリート製品のトレーサビリティシステムでは、コンクリート製品業界へのアンケート調査を実施し、ユビキタス技術は、「データ保管の効率化」、「他社品との差別化」、「製品トレーサビリティの確保」、「信頼性の向上」という点で期待されている。
- ・ コンクリート製品への埋め込み実験を行った結果、3年半経過後においてもタグ情報の読み取りが可能であったため、適用可能であることを確認した。
- ・ コンクリート製品中でさらに深い位置で読み取りを可能とするために金属製のタグと感度増大のためのリフレクタの配置を検討し、コンクリート中での深さ 7cm 以上の位置においても読み取りが可能なタグとリフレクタの大きさ、配置条件の組合せを開発した。

第6章では、開発したシステムを活用し、開発したシステムをリンクすることで、コンクリート構造物のトータルトレーサビリティシステムの構築が可能となることを提言した。構築には、RF タグ、システムのコスト負担等の意識変化が必要なことも示した。コンクリートの性状、特性に適した RF タグの要求事項を明らかにしている。

第7章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。

氏 名

君 島 健 之

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、現状のコンクリートの品質管理方法の調査や無線情報技術のコンクリート分野への展開の可能性調査を実施し、ucode を用いたコンクリートの品質トレーサビリティの提案を行った上で、ビジネスモデルの構築を目標に研究した成果についてまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

1. コンクリートにおける品質管理（既往の管理方法）、新たな品質管理の現状について述べるとともに、技術的な問題点、およびその解決策についても明らかにしている。
2. これまでの自動認証技術、無線情報技術、コード体系の現状を纏め、更にコンクリートのトレーサビリティを解決する手段として使用する RF タグの現状、実用化、RF タグの問題点等を述べている。その上で、セメント・コンクリートへ適用する問題点を列挙し、その対処方法として、ucode を格納した RF タグの使用が有効であることを述べている。
3. ucode を格納した RF タグをコンクリートに埋め込み、タグの形状、周波数、通信距離、鉄筋の影響、耐久性、耐熱性、水分の影響、配置（深さ）、読み取り精度などについての検討を行い、コンクリートの性状、特性に適した RF タグの要求事項を明らかにしている。
4. コンクリート分野への適用について述べている。通常、供試体を判別するために、硬化後、型枠から外した際に手作業で識別記号を記載している。供試体本数が多い場合、その管理は煩雑となり大変な労力と時間を要する。供試体管理に確実なトレーサビリティシステムを導入することで、さらに試験の効率化（試験結果の取りまとめ）と正確性の向上を提案するとともに、開発したシステムのモデル事例を示している。
5. コンクリート製品の製造から出荷までの間には、生コンクリート分野同様、多くの工程が存在する。すなわち、使用材料、練混ぜ、品質管理試験、鉄筋の配筋など製造条件に関する情報、蒸気養生やオートクレーブなど養生条件に関する情報、強度や寸法、耐荷重など構造設計に関する情報、出荷・納品に関する情報などである。これらの情報を収集し、材料管理から出荷までをトレースできるコンクリート製品のトレーサビリティシステムのモデル事例を示している。
6. コンクリート構造物の維持管理業務を想定したトレーサビリティシステムの構築など、ビジネスモデルの提案を行い、今後の方向性を示している。

本論文は、以上に述べた一連の研究により、無線情報技術を用いたコンクリートの品質トレーサビリティの記述についてきわめて有用な知見が得られており、学術上、実務上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成23年8月24日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。