

第43号

令和2年4月1日

博士學位論文

内容の要旨及び審査結果の要旨

(令和元年度 後学期授与分)

金沢工業大学

目 次

◇博士

(学位記番号)	(学位の種類)	(氏名)	(論文題目)
博甲 第 119 号	博士(工学)	赤倉 貴子	法令文の論理式・論理回路化に基づく知的財産法学習支援システムの設計に関する研究・・・・・・・・・・1
博甲 第 120 号	博士(工学)	廣瀬 寛騎	BIM データを用いた建築空間の視界幾何特性分析手法の開発研究・・・・・・・・5
博乙 第 56 号	博士(工学)	豊田 淳	木橋の構造性能に基づく保全技術の開発に関する研究・・・・・・・・9

は し が き

本誌は、学位規則（昭和 28 年 4 月 1 日文部省令第 9 号）第 8 条の規定による公表を目的として、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の結果の要旨を収録したものである。

氏名	あかくら たかこ 赤倉 貴子		
学位の種類	博士（工学）		
学位記番号	博甲 第119号		
学位授与の日付	令和2年3月19日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項相当		
学位論文の題目	法令文の論理式・論理回路化に基づく知的財産法学習支援システムの設計に関する研究		
論文審査委員	(主査) 教授	加藤 浩一郎	教授 杉光 一成
		教授 神宮 英夫	教授 中沢 実
		立命館大学大学院 教授	小田 哲明

論文内容の要旨

2018年、政府の知的財産戦略本部より新たな「知的財産戦略ビジョン」が公表された。それは、知的財産が今後益々重要となることを踏まえて、2025年～2030年頃を見据えた社会像と価値を示し、それらを支える知的財産システムのあり方をまとめたものである。第4次産業革命と言われる現在、知的財産の重要性は今後益々クローズアップされ、産業界からは大学在学中に知的財産に関する基礎的知識を身に付けることが望まれている。しかし、大学工学系学部では十分な知的財産教育が行われていないことがこれまでに報告されている。

こうした先行研究による指摘を背景として、本研究では、まず工学系学部及び大学院工学系研究科における知的財産関連講義の開講状況を分析した。その結果、全国の大学工学系学部及び大学院工学系研究科においては、多くても2単位（30時間）程度の講義が開講されている場合がほとんどで、倫理教育の中で数時間のみ実施されている場合も多かった。その一方、知的財産の保護と活用という2つの側面に視点を置き、活用に力を入れた講義もあった。また事例研究として取り上げた大学の工学系学部学生は、法律に関する知識はほとんどなかったが、知的財産に全く興味がないわけではなく、「知的財産法」の15コマ（30時間）の講義の後には、知的財産法だけでなく、法律全体にも興味を持つようになることがわかった。しかし工学部の場合、実験が多いというカリキュラムの都合上、知的財産関連の講義時間を増やすことは難しいため、自学自習用のシステムが必要であると考えた。

自学自習のためには、演習問題における自らの誤りが何に基づいているのかを適切にフィードバックできるようなシステムが有効であると考え、誤りの判断を行える自習システムの開発を目指した。法令文が論理式で表現できることに着目して、知的財産法学習時における問題解決プロセスモデルを定義・提案し、学習支援システムを構築した。学習支援

システムは、演習問題に対して正解の論理構造を自動的に生成でき、その正解と学生が入力した解の構造とを比較し、その差分をとることによって、学生の誤りが問題解決プロセスのどの部分にあるのかを構造的に示せることを明らかにした。そしてこのモデルをシステムの制御構造として掲載した学習支援システムを開発して、実験的にその有用性を検討した。その結果、こうしたシステムでの学習は、知的財産への理解を深め、工学系学部の学生に好意的に受け入れられることがわかった。

さらにここで開発したシステムだけでなく、大学の対面での講義をビデオ撮りしてさまざまな機能をつけたシステムの実践的利用を通して、工学部学生は、条文を条文集で学ぶのではなく、論理式や論理回路を使って学ぶことで、理解が深められることやこうした方法で学ぶことを好むことがわかったので、先に定義した問題解決過程モデルに基づき、学生自身が論理式や論理回路を組み立てて条文を学ぶシステムを開発した。その結果、論理式や論理回路を組み立てて学ぶことのできるシステムは、学生の条文への理解を深め、知識を獲得できることが明らかになった。

さまざまな学習支援システムを開発、運用し、学生のシステム利用のログ解析や成績の分析などから、学習支援システムの特にインタフェース部分は、学生の特性によって好み異なり、成績の向上に対しても学生の特性に応じて学習支援システムを可変的に提供した方がよいことが実験的に分かった。

本研究では、工学部学生が知的財産法の知識を身につけることを目的として、条文を理解して演習問題を解けるようにする学習支援システムの設計手法とその適応的提供方法を提案した。本研究の対象者は、条文を知らない、すなわち法律の知識のない学生に知識を獲得してもらうことが目的であり、条文の論理式化、論理回路化という本提案手法は有効であった。今後の課題としては、問題解決過程モデルだけではなく、知識獲得過程もモデル化し、知識獲得支援システムはこのモデルに基づいて開発するのが望ましいと考えている。また教材内容の構造モデルについても実践的に運用してその効果を検討したい。さらに一步進めて応用的な内容、例えば、審判や訴訟の実務などを学ぶ場合に、本提案手法をどのように展開すべきかを検討することが今後の課題としてあげられる。

論文審査の結果の要旨

政府の知的財産戦略本部は2018年に新たな「知的財産戦略ビジョン」を公表し、また第4次産業革命と言われる現在、知的財産の重要性は益々クローズアップされ、産業界からは大学在学中に知的財産に関する基礎的知識を身に付けることが望まれている。しかし、大学工学系学部では十分な知的財産教育が行われていないことがこれまでに報告されている。

こうした先行研究による指摘等を背景として、本研究では、まず工学系学部及び大学院工学系研究科における知的財産関連講義の開講状況を分析した。その結果、全国の大学工学系学部及び大学院工学系研究科においては、多くても2単位程度の講義が開講されている場合がほとんどで、時間のみ実施されている場合も多かった。しかし工学部の場合、実験が多いというカリキュラムの都合上、知的財産関連の講義時間を増やすことは難しいため、自学自習用のシステムが必要であると考えた。

そこで、法令文が論理式で表現できることに着目して、知的財産法学習時における問題解決プロセスモデルを定義・提案した。そしてこのモデルをシステムの制御構造として登載した学習支援システムを開発して、実験的にその有用性を検討した。学習支援システムは、演習問題に対して正解の論理構造を自動的に生成でき、その正解と学生が入力した解の構造とを比較し、その差分をとることによって、学生の誤りが問題解決プロセスのどの部分にあるのかを構造的に示せることを明らかにした。その結果、こうしたシステムでの学習は、知的財産への理解を深め、工学系学部の学生に好意的に受け入れられることがわかった。

さらに、先に定義した問題解決過程モデルに基づき、学生自身が論理式や論理回路を組み立てて条文を学ぶシステムを開発した。その結果、論理式や論理回路を組み立てて学ぶことのできるシステムは、学生の条文への理解を深め、知識を獲得できることが明らかになった。

以上の通り、本研究では、工学部学生が知的財産法の知識を身につけることを目的として、条文を理解して演習問題を解けるようにする学習支援システムの設計手法とその適応的提供方法を提案し、法律の知識のない特に工学部の学生に知識を獲得してもらうために、条文の論理式化、論理回路化という本提案手法は有効であることを確認した。

本論文は8章より構成されている。第1章は序論であり、研究背景、本研究の目的、本論文の構成について述べたものである。第2章は大学工学部における知財教育の現状について述べたものである。第3章は特許法学習のための問題解決過程モデルについて述べたものであり、特許法学習における表層構造と定式化構造や法令文の論理式表現と特許法学習の解法構造について言及している。第4章は、問題解決過程モデルに基づく学習支援システム開発について、そのシステム概要から試用実験の結果まで述べたものである。第5章は、本研究で開発した2つのシステムと、その他のシステムとの主観的評価比較を行った結果を示したものである。第6章は本研究で開発して学習支援システムの利用状況と知識獲得状態（成績）の関係について述べたものである。さらに、第7章は条文を論理式・

論理回路で組み立てる知識獲得支援システムの開発について述べたものである。そして、第8章は結論として本研究の総括及び今後の課題などを示したものである。

本研究は、学習支援システムの設計に関する工学的アプローチによる研究であり、本専攻の主テーマであるシステム設計工学に直接的に寄与するものであることは明らかである。さらに、知的財産の創造・保護・活用から構成される知的創造サイクルを社会システムとしてとらえてその研究をおこなう本専攻における知的創造システム特殊研究の趣旨にも合致し、本特殊研究における研究の意義は大いにあるものと思料される。また、本論文のような視点からの知的財産法の学習支援のためのシステムについての研究は、特に工学部生への教育のみならず、法律の理解・普及・啓蒙を図りたい特許庁等の官庁や、企業におけるエンジニアの教育という点においても有用なものであると考えられる。

このような本研究の研究成果については、本学大学院在学中に、査読付き論文5編、査読付き国際学会発表8件（IEEE系学会3件を含む）、国内学会発表1件を行っている。

なお、技術者倫理に関する高度な倫理観についても確認済である。

よって、本論文は博士（工学）の学位に十分値すると判断する。

氏名	ひろせ ひろき 廣瀬 寛騎
学位の種類	博士（工学）
学位記番号	博甲 第120号
学位授与の日付	令和2年3月19日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項相当
学位論文の題目	BIMデータを用いた建築空間の視界幾何特性分析手法の開発研究
論文審査委員	(主査) 教授 下川 雄一 教授 川崎 寧史 教授 竹内 申一 教授 出原 立子 大阪市立大学 教授 瀧澤 重志

論文内容の要旨

1. 背景と目的

視覚情報は人間の行動に強く影響しており、建築や都市空間の計画において利用者からの見え方を確認するところは極めて重要である。従来、その確認手法としてモデルを活用することが多かったが、近年ではBIMの普及もありパソコン上で3次元モデルを表示して空間を評価するケースが増えている。しかし、それらの評価方法は主観的もしくは定性的な評価になり易く、今後、建築計画・設計の手法がデータ・オリエンテッドなアプローチへ転換していくと考えるならば、その一つとして建築空間の見え方を定量的に求める技術も必要になると考えられる。しかし、その分野の技術は発達途上であり、今後の更なる発展が期待されている。ここで、空間を定量的に評価するアプローチは幾つか存在するが、M. L. Benedikt が提唱した Isovist 理論(1979)は、視領域の幾何特性からその空間特性を評価しようとするアプローチの代表的存在といえる。また、Isovist 理論から影響を受けた研究や、自然や都市空間における特定対象物見え方を独自の方法で分析した研究も様々に存在する。しかし、それらの研究では空間全体の見え方を網羅的に分析するための計算手法は提案されていない。よって本研究では、壁・天井・床などの建築構成要素や樹木・空・周辺建物などの外部環境が建物の各場所からどのように見えるのかを柔軟に分析可能な計算手法を提案するとともに、汎用性の高い視界幾何特性分析ツールを開発し、その有効性を評価することを目的とする。

2. 視界幾何特性の計算方法

視界幾何特性の計算においては BIM データに含まれるオブジェクトの属性情報に着目して開発を進めた。具体的には、視点から放出した無数の視線ベクトルをオブジェクトに衝突させ、その交点座標群やオブジェクトの属性情報（壁・天井などのタイプ情報）を抽出することでオブジェクト毎の見えの大きさを算出する方法を提案する。見えの大きさは全

方向に放出した視線ベクトル数に対する対象物に衝突した視線ベクトル数の割合に全周の立体角比 4π を乗じた値（単位：ステラジアン）で表すが、その精度は放出する視線ベクトルの発生パターンと本数によって変化する。本研究では2段階の検証作業を行い、フィボナッチ格子を用いた視線ベクトルの配列パターンが有効であることを確認した。

3. 視界幾何特性分析ツールの開発

フィボナッチ格子による視線ベクトル配列を用いて視界幾何特性の分析ツールを開発した。本ツールでは3次元オブジェクトの属性情報の種類毎に見えの大きさの合計値と平均視距離を算出可能であり、それらの可視化インターフェイスとして見えの大きさカラーマップ表示、見えの大きさ割合の円グラフ表示、可視率カラーマップ表示、視線ベクトルと平均視距離の表示、等の機能を開発した。開発ツールの有効性や計算負荷の高さを確認するため、藤本壮介氏が設計した house N を対象にケーススタディを実施した。その結果、空間内の各所における周囲の見え方の違いを直感的且つ定量的に把握することができること、開口部からの視線の抜け方をビジュアルに確認できること等を確認した。一方で、視線ベクトル群が離散的に存在する場合、見えの大きさや平均視距離が一括され、視線ベクトル群ごとの見えの大きさや平均視距離を細かく把握できない問題も確認された。

4. 視領域単位の細分化手法の開発

前章の最後に触れた問題点を解決するため、対象物毎の視領域（以降、視領域単位と呼ぶ）を自動的に細分化する手法の開発を行った。視領域単位の基本的な分割方法としてタイプ分割、ID分割、領域分割の3つの処理方法を取り上げ、その組み合わせ方の違いによる細分化手順を4パターンに絞り、どれが有効か建築作品 house N を対象に検証を行った。結果、タイプ分割→ID分割→領域分割の順に細分化する手法が有効であることを確認した。また、細分化された視領域単位毎の見えの大きさや平均視距離をグラフ化する手法も開発した。

5. 開口部ごとの視領域単位分析手法の開発

全周方向における視領域単位の細分化が可能になったため、開口部ごとに視領域単位を分析する手法の開発を行った。開口部に相当する箇所に開口オブジェクトを配置し、それと視線ベクトルの交差関係を基に視領域単位を算出する。また、追加機能として各視領域単位の視線方向（方位角・仰俯角）を算出する機能を設けた。さらに、新たに開口部ごとに細分化された視領域単位毎の見えの大きさや平均視距離、視線方向を表記する手法も開発した。

6. 総括

以上の研究を総括し、本研究で達成した視界幾何特性の分析手法を総合的に評価し、その意義をあらためて確認した。また、今後の展開や可能性および課題についてまとめた。

論文審査の結果の要旨

金沢 21 世紀美術館のような建築作品からも分かるように、近年の建築作品では、隣接する空間同士および室内と屋外が様々な関係を持つものとして計画されることが増えてきており、建築空間内の各所から周囲や外部の見え方をいかにデザインするかが重要視されるようになりつつある。また、都市内の公共空間の計画では、犯罪防止や利便性・快適性の向上といった観点から、視認性や街路の接続性など、空間の見え方に基づいた計画手法が様々なかたちで提案・応用されてきた。これに対し、海外では 1970 年代から Isovist や SpaceSyntax といった空間の幾何的な見え方の解析理論が提案され初め、90 年代になると、コンピュータや CAD ソフトウェアの発達を背景に、海外のみならず国内においても 3 次元かつ幾何的に空間の見え方を解析する手法が提案されるようになってきた。しかし、それらの殆どは可視性や可視領域のような抽象化された指標での情報提示に留まり、建築空間において、何が、どの程度、どのように、見えるかをより具体的に解析する技術は未だ開発されていない。このような背景から、本研究は、建築空間の各所における周囲の幾何的な見え方を総合的に解析するための基礎的技術の開発を目的として、属性情報を持つ 3 次元モデル (BIM データ) を用いて視界幾何特性 (視対象ごとの見えの大きさ、平均視距離、視方向) を算出・可視化する手法を提案し、プログラミングによるツール開発およびその有効性検証を行ったものである。

申請論文は全 6 章で構成されており、各章の内容は次に示すとおりである。

第 1 章では、本研究の着手に至る問題意識やそれを受けての目的および方法が提示され、関連する国内外の既往研究を紹介するとともにそれらとの相違点を述べている。

第 2 章では、視界幾何特性の計算方法の提案とその検証結果について述べている。具体的には、視界幾何特性を高精度かつ総合的に計算するため、多数の視線ベクトルを全方位にできる限り一様に放出し、視対象となる各種 3 次元モデルとの交点計算を行う方法を提案しており、その視線ベクトルの配列方法としてフィボナッチ格子の使用を提案している。見えの大きさに限定して精度検証のためのツールを開発し、正二十面体基準格子や緯度経度格子といった他の格子と比べて精度が高いことを示すと同時に、視対象オブジェクトのコンディション、放出視線ベクトル数、計算精度の相対的な関係性を明らかにしている。

第 3 章では、フィボナッチ格子による視線ベクトル配列を用いた視界幾何特性分析ツールの開発概要およびその有効性検証のためのケーススタディについて述べている。視界幾何特性分析ツールは、壁や樹木などの視対象オブジェクトの属性ごとに見えの大きさと視距離をそれぞれ計算し、建物モデル内にヒートマップとして可視化する機能を備えており、実在する建築作品を想定したケーススタディを実施してその有効性と課題を明らかにしている。

第 4 章では、視領域単位を細分化する手法の提案とその検証結果について述べている。前章で開発した機能では、壁、樹木といった視対象属性ごとの視界幾何特性が一緒くたに算出され、まとまって見える状態と離散的に見える状態などを判別できなかった。この問

題を解決するため、球面ボロノイによる視線ベクトル群の隣接判定などを含めた視領域単位の自動細分化アルゴリズムを提案するとともに、視領域単位の構造的な可視化手法として視領域単位構成グラフを併せて提案し、ケーススタディを通してその精度や有効性を確認している。

第5章では、前章で提案した視領域単位の細分化やその可視化手法が建築設計者にとっていかに有効か不明瞭であるとの考えから、分析ツールに、窓や出入口のような開口部に対して全視領域単位を対応づけるアルゴリズムを組み込み、開口部ごとに視領域構成グラフを可視化する機能を追加開発している。また、国内外に実在する有名建築10作品を想定したケーススタディを実施し、建築空間の比較分析における具体的な活用方法を示している。

第6章では、各章の結果をまとめるとともに、既往研究で提案された7種類の分析手法との比較を行い、本研究の総合的な優位性を確認するとともに、研究の課題や今後の展望について述べている。

建築空間の分析では、多様な物差しにおいて物理量と心理量の双方を扱う必要があるが、本研究では心理量と照らし合わせるための空間の幾何的な見え方という物理量を効果的に計算・可視化する手法を提案している。この成果は、既往の解析手法をさらに前進させるものとして、また、近年普及が著しいBIMデータの新たな活用法としても高い有用性があると考えられ、開発されたツールの公開などを含めた今後の社会貢献が強く期待されるものである。

申請論文の内容は、博士後期課程在学中において、査読付き論文2件、国際会議1件、国内口頭発表5件として申請者が筆頭著者として発表している。国内口頭発表においての受賞1件（若手優秀発表賞）も含め、これらは申請論文の成果が学会において高い評価を得ていることを客観的に示すものである。

なお、技術者倫理における高度な倫理観についても確認済みである。

よって、本論文は博士（工学）の学位に十分値すると判断する。

氏名	とよだ あつし 豊田 淳
学位の種類	博士（工学）
学位記番号	博乙 第56号
学位授与の日付	令和2年3月19日
学位授与の要件	学位規則第4条第2項相当
学位論文の題目	木橋の構造性能に基づく保全技術の開発に関する研究
論文審査委員	(主査) 教授 本田 秀行 教授 宮里 心一 教授 木村 定雄 教授 後藤 正美 金沢大学大学院 教授 深田 宰史

論文内容の要旨

研究の目的は、橋梁の長寿命化の観点から、現存する木橋と集成材を材料とした近代木橋の経年による健全度の推定法と木材利用促進の観点から土木材料に木質材料を用いる試みとして、面材料であるCLT(Cross Laminated Timber)に着目し、鉄筋コンクリート床版の代替としての可能性を検証することである。経年による木橋の健全度に対して、木橋が持つ鉛直方向の基本固有振動数に着目し、基本固有振動数に基づく等価曲げ剛性を構造剛性と定義し、経年による構造剛性の減少により木橋の健全を検証する方法を提案し、石川県に架かる「こおろぎ橋」については早急な保全対策の必要性を唱えた。また、CLT に対しては新たな土木材料として提案するため、CLT の構造性能の検証と木橋の弱点である腐朽に対しての付与技術を提案し、秋田県内で実際に CLT を利用した床版を架設し、その可能性を実証した。これらは実用レベルに達しており、提案する価値がある。

論文の構成は8章からなり、「第1章」では研究の背景と古くからの木橋と近代木橋(以下、木橋という)に求められる機能を明確にし、木橋の維持管理手法やそれらに関する既往の研究成果について概説し、国内における事例を示す。「第2章」では、木橋の持つ構造性能を明確にするため23橋の測定結果を示し、①支間長と基本固有振動数、②支間長と減衰定数の関係を示し、③動的増幅率に関しても、道路橋と同様に支間長との関係を示す。「第3章」では、第2章で記述した近代木橋と古くからの木橋に対する動的調査の調査手法を示している。動的調査は、①砂袋落下衝撃試験、②常時微動測定試験、③水平加振試験を実施し、その実験手法を詳述している。これらにより経年劣化に伴う橋全体のヤング係数を逆解析により推定し、構造剛性の減衰率算出方法を示す。「第4章」では、近代木中露式アーチ道路橋を対象に、①経年による大型車両の走行による3次元動的応答解析法を定式化した。その結果、応答変位の特性値に関して定量的な経年による健全度の評価が可能である知見を示した。これにより、木橋の健全度の評価法は、一度の実橋での実験で得られたデータを用いて経年による健全度の評価を解析で求められると示している。「第5

章」では、第3章で記述した木橋についての調査結果を示している。経年劣化に伴い、固有振動数が低減する実態を明確に示した。調査で得られた実験値の固有振動数と固有値解析結果は、良く一致していることを確認し、経年のよる劣化の実態が固有値解析の中で再現されているとの結論を示した。「第6章」では、木材利用促進の観点から土木材料として着目した CLT を橋梁の床版用途として使用する場合の性能を各種試験により示している。また、CLT の耐久性付与のための方法を室内実験で有効性を示した。「第7章」では、CLT を橋梁の床版材料に着目し、鉄筋コンクリート(RC)床版の代替として CLT 床版を用いた既設橋梁の補修工法の可能性を示し、これらの研究を基に実橋に応用した例を示した。「第8章」では、本研究で得られた知見をまとめ、現状における問題点や、今後の研究課題を示した。主な結果を下記に示す。

- (1) 実測した 23 橋に関して静的たわみは、設計での鉛直曲げ剛性より実際の剛性が大きいと判断され、車両等の活荷重に対する実際の抵抗強度が大きい。また、振動モードは各橋梁形式特有の振動挙動を示しており、鉛直曲げ 1 次固有振動数は、一般的な道路橋とほぼ同等であるため、同等の鉛直曲げ剛性を有している。
- (2) 近代木橋は下路、中路式アーチ形式以外は、コンクリート系橋梁と同程度の減衰性能を持つ。また、衝撃係数に関しては、従来の木橋の設計で用いられていた 0.25 の設計衝撃係数は単支間長では小さく、支間長が長くなるにつれて過大評価している。
- (3) 経年による固有振動数と減衰定数の低減率、経年による構造剛性(鉛直方向の基本固有振動数に基づく等価曲げ剛性)の低減率が必要になるが、経年による橋梁の健全度は、応答変位の特性値により評価が可能である。経過年数と構造剛性の低減率の分布図から得られた回帰曲線による低減係数は、木橋の健全度評価の指標に有効である。
- (4) 近代木橋の材料として着目した CLT を橋梁の床版用途として使用する場合の性能を評価するため、①静的曲げ試験、②繰り返し載荷試験、③輪荷重載荷試験を実施した。上記試験結果から CLT の構成によって床版の性能を設計することが可能であり、また、十分な疲労耐久性を有していることを確認した。
- (5) ①ラッピングによる被覆(シュリンクラップ、FRP シート)、②塗膜系材料による方法、③ポリマーセメントによる被覆、④塗布型木材防腐剤による防腐処理を提案し、乾湿繰り返し試験を行い、各々の重量比較を実施した。FRP シートでラッピングした試験体は湿条件を変化させても重量に変動がなく高い防水効果が得られることが分かった。ラッピング技術を用いた木材の物理的な耐久性付与技術の可能性を示唆した。
- (6) 実橋の CLT を用いた床版取替え工事を実施し、鉄筋コンクリート(RC)床版の代替として C CLT 床版を用いた既設橋梁の補修工法の可能性を示唆した。

論文審査の結果の要旨

わが国では、1980 年後半から 2000 年前半まで構造用大断面集成材を用いた木橋が多く建設されて来た。その多くは木歩道橋であるが、約 40 橋の本格的な木道路橋が建設され、世界で最大規模の木道路橋も建設されている。また、わが国の伝統的な丸太や角材による木橋は古くから全国的に多数建設されて来た。しかし、耐久設計の不備による架設後 10 年での落橋や架設後 7 年で腐朽劣化によって撤去されるなどの事案も多く生じている。

わが国の集成材木橋の歴史は約 30 年で、欧米に比べて浅く、維持管理や保全法を学術的に論議する基盤がほとんど無かった。また、保全技術を検討するためには実橋の実態把握による基礎データが必要であるが、国内外ともにデータの集積がほとんどなされていなかった。さらに、木材や木橋は気象環境の要素に大きく影響されるため、諸外国の保全技術をそのままわが国の木橋に適用できない問題もある。このことから、従来の歴史的な木橋も含めて、木橋の静的および動的特性の実態把握による構造性能に基づくわが国独自の維持管理や保全技術の開発が緊急な社会的課題になっている。

本論文は 8 章から構成されている。第 1 章ははじめにで、本研究の社会的背景と課題および本研究の特色と目的を述べている。第 2 章は木橋の構造性能に対する実態評価で、28 年間に亘る 23 木橋に対する実橋実験と構造解析から、静的および動的特性に関する構造性能の実態を把握している。第 3 章は経年による木橋の健全度に対する定量的評価で、各検査法を統合して定量的に健全度を把握する減点法を開発している。第 4 章は動的応答解析に基づく経年による健全度評価で、走行車両による木道路橋の 3 次元動的応答解析を定式化し、解析に基づく応答変位から健全度を評価する手法を開発している。第 5 章は経年による木橋の構造剛性に対する評価で、実質的な劣化曲線である経年による構造剛性の低減係数を定式化し、この低減係数から健全度を定量的に評価する手法を開発している。第 6 章は直交木床版の構造性能に対する評価で、土木分野での利活用するために曲げ、疲労、輪荷重走行試験を行い構造性能に検討を加えている。第 7 章は直交木床版の保全技術に対する評価で、直交木床版を用いた 2 橋の实在橋梁を試験施工して 4 種類の防腐対策法に対する効果的な保全技術に検討を加えている。第 8 章はまとめで、第 2 章から第 7 章で得られた主要な研究成果を要約している。

本論文の要点は以下の通りである。

1. 集成材の木橋は、欧米では 60 年以前から架設が始まっているが、わが国では 30 年程の歴史よりない。集成材木橋の歴史が浅い事もあって、木橋の静的および動的な構造性能に関する基礎データは国内的にほとんど集積されていない現状である。本論文は、28 年に亘る全国に建設された 23 木橋の実橋実験と 3 次元構造解析で集積したデータを基に、静的および動的の様々な観点から構造性能に検討を加えている。また、木道路橋の設計衝撃係数を実橋実験の結果を基に、世界で初めて提案している。それらの知見は、木橋の設計法と保全法の技術開発に対して世界的に画期的な貢献をしている。
2. 木橋の健全度を評価する場合、様々な検査法による測定結果に対して健全度の評価が

行なわれるのが一般的である。しかしながら、それらの評価は個々の検査法による相対的な評価が一般的で、個々の検査法を統合し、さらに定量的な評価を行なうことは従来行なわれていなかった。本論文は、個々の検査法を統合して定量的に健全度を評価できる新たな減点法を開発し、健全度評価の信頼度を高める貢献をしている。

3. 木橋の健全度を評価する場合、経年による振動特性値の変化で評価が行われる場合もある。しかしながら、経年による木橋の劣化等による健全度の評価を行なう場合は、数年ごとのモニタリング調査が必要で、多大な労力と時間を要する。本論文は、過去の振動実験で振動特性値が既知である場合、解析的に経年による健全度の評価が可能である新たな知見を提示している。具体的には、世界的に全く行われていない大型車両の走行による木道路橋の3次元動的応答解析の結果から、応答変位によって経年による健全度の評価が可能である事を論述し、木橋の健全度評価の分野に多大な貢献をしている。
4. 木橋の経年劣化によって橋梁全体の強度低下を評価する事は、維持管理の分野で重要な課題である。しかしながら、この分野は世界的に基礎データの集積がないことから全く検討されていない現状である。本論文は、28年に亘って実橋の振動実験で得た6橋の集成材木橋と3橋の木橋を対象に、鉛直等価曲げ剛性を構造剛性と定義し、経年による構造剛性の低減係数を世界初として定式化している。また、構造剛性の低減係数から木橋の健全度を定量的に評価する新たな手法も開発している。

なお、木橋の実質的な劣化曲線である経年による構造剛性の低減係数の定式化によって、世界的に全く未知の分野である木橋特有の修復限界状態設計法の構築に対して扉を開いた意義は大きい。

5. CLTの利活用は国策として急務な課題になっているが、建築部材の活用が主流になっている。本論文は、土木分野への利活用を行うために、曲げ疲労試験や輪荷重走行試験などから直交木床版の構造性能の評価を検討した。その結果として、RC床版に直交木床版を使用することが可能である技術論を展開している。そして、わが国で初となる直交木床版を用いた2橋梁の試験施工を行ない、4種類の防水・腐朽効果に対する評価など直交木床版橋梁の保全法を開発するための検討も行なわれ、土木分野における直交木床版の利活用に多大な知見を提示している。

以上のように、28年の長きに亘る実験と構造解析を基に、本論文は木橋の構造性能の実態に基づく保全技術の開発に対して、わが国のみならず国外的にも学術的に多大で有意な知見を提示している。よって、本論文は博士（工学）の学位に十分値すると判断する。