HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Study on model order reduction for Maxwell's equations based on Krylov subspace methods [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	比留間, 真悟
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(情報科学)
Dissertation Number	甲第14580号
Issue Date	2021-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/81667
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Shingo_Hiruma_review.pdf, 審査の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称　博士 (情報科学)　氏名　比留間　真悟

審査担当者　主　査　教　授　五十嵐 一
副　査　教　授　山下 裕
副　査　教　授　北 裕幸
副　査　准教授　野口 聡

学位論文題名

Study on model order reduction for Maxwell's equations based on Krylov subspace methods
（クリロフ部分空間法によるマクスウェル方程式のモデル縮約法に関する研究）

本学位論文は,Kyrlov 部分空間法による Maxwell 方程式のモデル縮約法について述べている. 変圧器やモータを始めとする電気機器の電磁界解析は, 非線形解析に適した有限要素法で行われることが多い. 有限要素法により機器の詳細な特性が精度よく解析することができるが, 一方, 機器の駆動系や制御系などと連成した解析を行うためには計算負荷が重すぎるという困難があった. またリッツ線や圧粉磁芯など微細構造を有する材料の有限要素解析は難しいという問題があった. 本学位論文では, 大規模な有限要素方程式から直接的に縮約モデルである Cauer 回路を導く方法を提案し, その有効性を実証している. さらに, リッツ線などの微細構造材料を均質化有限要素法によりモデル化し, そのモデルより Cauer 回路を直接導く方法を導入している. これにより, 電気機器が Cauer 回路でモデル化できることとなり, 駆動系および制御系と連成した系を電気回路シミュレータにより解析できるようになった. 以下, 本学位論文の構成について述べる.

第 1 章では研究の背景と既存の研究について記述し, それらの内容を踏まえて研究目的について述べている.

第 2 章では,Maxwell 方程式および Maxwell 方程式の準静電界, 準静磁界,Darwin モデル近似について述べている. さらに, 本研究で使用する有限要素法の概要についての述べている.

第 3 章では, 近年提案された電磁場の方程式と等価な Cauer 回路を生成する CLN(Cauer ladder network) 法に着目し, これを一般化した手法を提案している.CLN 法と伝達関数の Pade 近似法である PVL(Pade approximation via Lanczos) の関連性を Kyrlov 部分空間法の観点から明らかにしている. これにより一般化した CVL(Cauer via Lanczos) 法を導入している.CVL を用いることで任意の伝達関数を Stieltjes 連分数で近似し, それより Cauer 回路を得ることが可能になった. さらに提案手法を電磁機器の縮約モデル生成に適用することで, 計算時間を大幅に短縮できることを示している.

第 4 章では,CVL を均質化法に適用する方法について述べている. 本手法により, リッツ線などの微細構造材料の等価回路表現が得られ, 渦電流損失解析が高速に行えるようになった. 特に, 従来のモデル縮約法では, 有限要素方程式から均質化された材料の特性を表す有理多項式を導き, それより

Cauer 回路を導出するという過程が必要であったが, 提案手法によると, 限要素方程式から直接的に Cauer 回路を導出できるようになった.

第 5 章では, 変位電流が考慮可能な定式化である Darwin モデルに CVL を適用するための議論を行っている. Darwin モデルを従来の方法で離散化すると非対称な方程式になってしまうという問題があった. そこで著者は Darwin 近似された有限要素方程式から,CVL により直接的に Cauer 回路を導出する方法を開発した.

第 6 章では, 本研究の総括を与えている.

これを要するに著者は, 準定常近似および Darwin 近似の有限要素方程式から直接的に Cauer 回路表現を導く方法を与えており, これにより電気機器の等価回路モデリングおよび駆動系や制御系との効率的な連成解析を可能とした. 本研究は情報科学, 電気工学および電磁界解析に寄与するところ大なるものがある. よって, 著者は北海道大学博士 (情報科学) の学位を授与される資格ある者と認める.