OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	Efficient implicit solver for relativistic hydrodynamics in the dynamical modeling of heavy-ion collisions
Author(s)	Touroux, Nathan Yves Jean-Jacques
Citation	大阪大学, 2025, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/105276
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

Form 3

Abstract of Thesis

Name （Nathan Yves Jean-Jacques TOUROUX）	
Title	Efficient implicit solver for relativistic hydrodynamics in the dynamical modeling of heavy-ion collisions (重イオン衝突の動的模型における相対論的流体方程式の効率的な陰的数値解法)

Abstract of Thesis

The rich phase structure of Quantum Chromodynamics (QCD) has been extensively studied for decades, both theoretically and experimentally. In particular, properties of the quark-gluon plasma (QGP), which is realized in the high-temperature medium, have been actively investigated in relativistic heavy-ion collisions at large experimental facilities such as the Relativistic Heavy Ion Collider (RHIC) and the Large Hadron Collider (LHC). One of the remarkable findings of these experiments is that the time evolution of the QGP in the hot medium created by the collisions is well described by relativistic hydrodynamics with small viscosity. In the dynamical modeling of heavy-ion collisions, therefore, computational hydrodynamics plays a central role.

In this thesis, we propose a new method to solve the relativistic hydrodynamic equations in the dynamical modeling of heavy-ion collisions. This method uses an implicit Runge-Kutta method for time integration with a locally optimized fixed-point iterative solver. We demonstrate that the accuracy and computational cost of the new method are better than those of conventionally used explicit ones. The advantage is more pronounced when the method is applied to viscous hydrodynamic equations. We implement the solver into a dynamical model of heavy-ion collisions and perform simulations to reproduce experimental data.

様式 7

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名	（ Nathan Yves Jean-Jacques TOUROUX ）	
論文審査担当者	（職）	氏　名
	主 査　教授	浅川　正之
	副 査　教授	長峯健太郎
	副 査　准教授	Luca Baiotti
	副 査　助教	赤松　幸尚
	副 査　Associate Professor (INT Atlantic)	Marlene Nahrgang
	副 査　Physicien Permanent (Institut de Physique Théorique)	François Gelis
	副 査　Physicien Permament (Institut de Physique Théorique)	Jean-Yves Ollitrault
	副 査　Associate Professor (École Polytechnique)	Stéphane Munier
	副 査　Professor (Goethe University)	Marcus Bleicher
	副 査　Assistant Professor (Czech Technical University)	Iurii Karpenko

論文審査の結果の要旨

本論文においては、高エネルギー原子核衝突において生成されるクォークグルーオンプラズマの流体的時間発展を念頭に、新たな相対論的流体方程式の数値的解法が提案されている。その方法は局所的に最適化された逐次固定点法を用いた陰的なルンゲ・クッタ法に基づくものである。厳密解が知られているリーマン問題、ガブサー流に対して行った比較により、通常用いられている陽的方法よりも同じ精度を得るための数値コストが低いということが確かめられた。また、この方法は因果律を破らない二次の粘性流体に対する運動方程式に対して、通常の陽的解法よりも優れているということが議論され、実際に高エネルギー原子核衝突において生成される系に対して粘性、およびその緩和時間を含めた計算を行い、実験との比較が行われた。

これらの結果は、高エネルギー原子核衝突において生成される系の理解のためだけでなく、相対論的粘性流体が必要となる場において広く有用であると認められる。

よって、本論文は博士（理学）の学位論文として十分価値あるものと認める。