The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	Transient Beam Loading Effect and Coupled Bunch Instability in High Intensity Proton Synchrotron
Author(s)	Yamamoto, Masanobu
Citation	大阪大学, 2000, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.11501/3169114
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

【21】

氏　　名	山本昌亘（やまもとまさのぶ）
博士の専攻分野の名称	博　士（理　学）
学位記番号	第　15153　号
学位授与年月日	平成12年3月24日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 理学研究科物理学専攻
学位論文名	Transient Beam Loading Effect and Coupled Bunch Instability in High Intensity Proton Synchrotron （大強度陽子シンクロトロン加速器における過渡的ビーム負荷効果と結合バンチ不安定性）
論文審査委員	（主査） 教　授　佐藤　健次 （副査） 教　授　土岐　博　　教　授　畑中　吉治　　助教授　藤田　佳孝 教　授　岸本　忠史

論文内容の要旨

高エネルギーの陽子シンクロトロンにおいては、入射時に前段の陽子シンクロトロンのバンチ数との関係でリングの中にバンチが全て詰まっていない状態でなおかつ非対称な配置で数十～数百 ms の間運転が行われる必要が生じ、特にそれが大強度の陽子シンクロトロンである場合ビームと加速空胴の相互作用により誘起される Wake Field の振幅がバンチ配置の非対称性によりバンチごとに違った値をとるため過渡的ビーム負荷効果（Transient Beam Loading Effect）を生じることとなる。この過渡的ビーム負荷効果については、現在計画されている大強度陽子シンクロトロンにおいてはビーム損失を招く原因となるため過渡的ビーム負荷効果と過渡的ビーム負荷効果のもとでの結合バンチ不安定性（Coupled Bunch Instability）について特に加速空胴の特性との関係について研究を行った。

研究を行うにあたって全ての計算のもととなる Wake Field を含んだシンクロトロン振動の見通しのよい式を導出した。その際、従来加速空胴を LCR 並列共振回路としてビームとの相互作用によって生じる Wake Field を計算していたが、本研究においては、より加速空胴を実際に近い見積りのできる LCR の直並列共振回路である場合についても Wake Field の計算を行った。

まず、過渡的ビーム負荷効果については、従来加速空胴のQ値を上げることにより抑えられると考えられていたが、本研究において解析的な式による計算、粒子追跡コードによるシミュレーション、さらに大強度の電子ビームと加速空胴の実機による検証実験の結果、加速空胴のQ値が低い場合においても過渡的ビーム負荷効果を抑えることができることを発見した。また、過渡的ビーム負荷効果が一番厳しくなるのは加速空胴のQ値がリングのハーモニックナンバーの半分程度のところであることを見い出し、Q値を上げて過渡的ビーム負荷効果を抑えるためにはそのような値を越えてQ値を上げなければならないことも発見した。

次に、過渡的ビーム負荷効果のもとでの結合バンチ不安定性については非対称性から従来明確に判別する式が導出されていなかったが、本研究において導かれた Wake Field を含むシンクロトロン振動の式を解くことによって、結合バンチ不安定性によるバンチ運動の振幅の増大が起こるかどうかを判別できる式を導くことに成功した。さらに、Wake Field をより実際の加速空胴に近い直並列共振回路において求めた場合の結合バンチ不安定性の解析において、加速空胴の回路定数に特殊な条件がある場合に結合バンチ不安定性を起こさない状態が現れることを発見した。

論文審査の結果の要旨

本論文では、大強度陽子ビームを加速するシンクロトロン加速器において、ビーム進行方向の運動であるシンクロトロン振動の安定性について、バンチ配列が非対称なときの、ビームと加速空胴との相互作用による過渡的ビーム負荷効果と結合バンチ不安定性に着目した研究を行った。

大強度陽子ビームが加速空胴を通過するとき、加速されると同時に、ビーム電流が加速空胴に誘起する過渡的な減衰振動電圧の効果を含んだシンクロトロン振動の運動方程式を、非対称なバンチ配列による過渡的電圧が互いに影響し合う場合に対して導き出した。それを解くことによって、また、粒子追跡シミュレーション計算コードを開発して、加速空胴の高周波特性がこれらの不安定性に影響を与えることを示し、特殊な条件では不安定性を抑制できることを論じた。さらに、175kV、30A のバンチした大強度電子ビームを加速空胴に通過させる装置を組み立て、その主張するところを実験的にも検証した。

以上のように、シンクロトロン加速器により大強度陽子ビームを加速するときのビーム物理に加えて加速器要素の特性に関して新しい知見を得ており、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。