

交流モータのトルクリップル受動抑制に向けた磁気式周期反転ばねの動特性解析

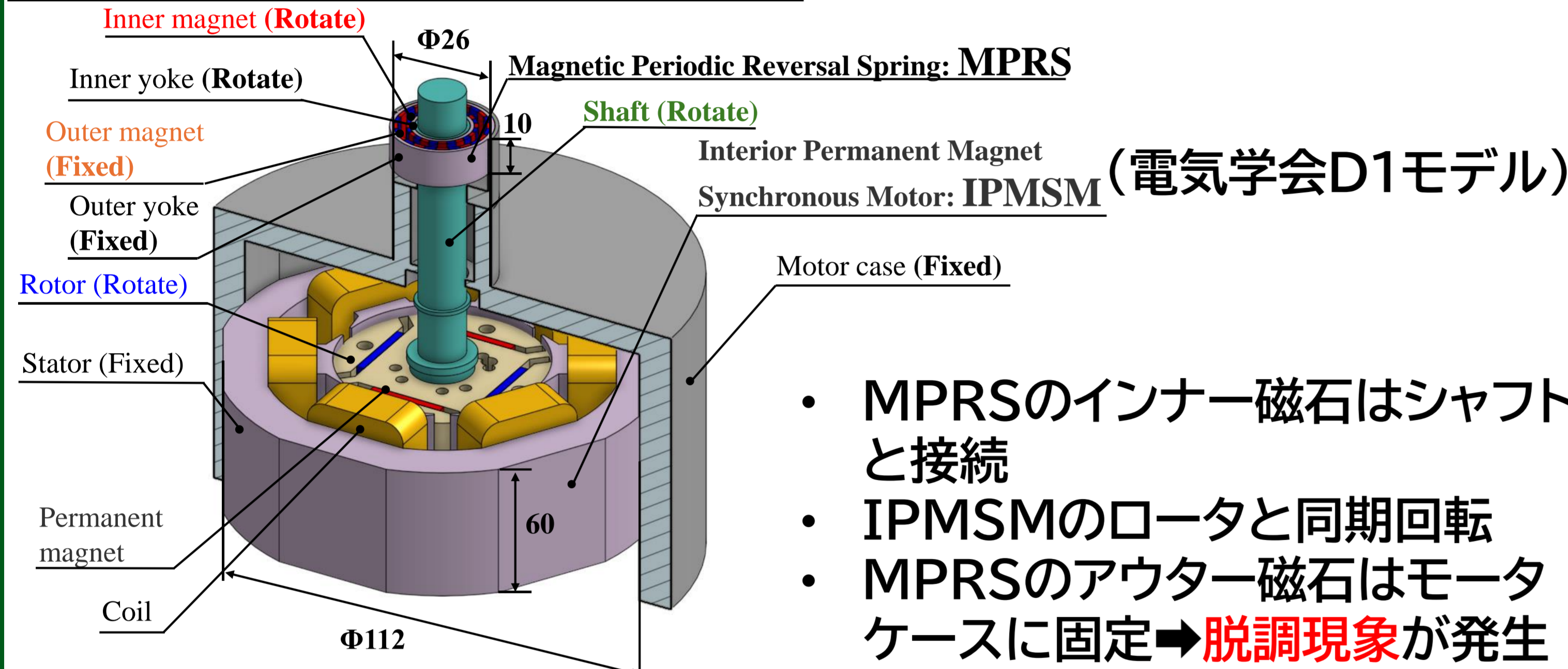
○伊藤 春陽, 加藤 雅之(茨城大学)

要約

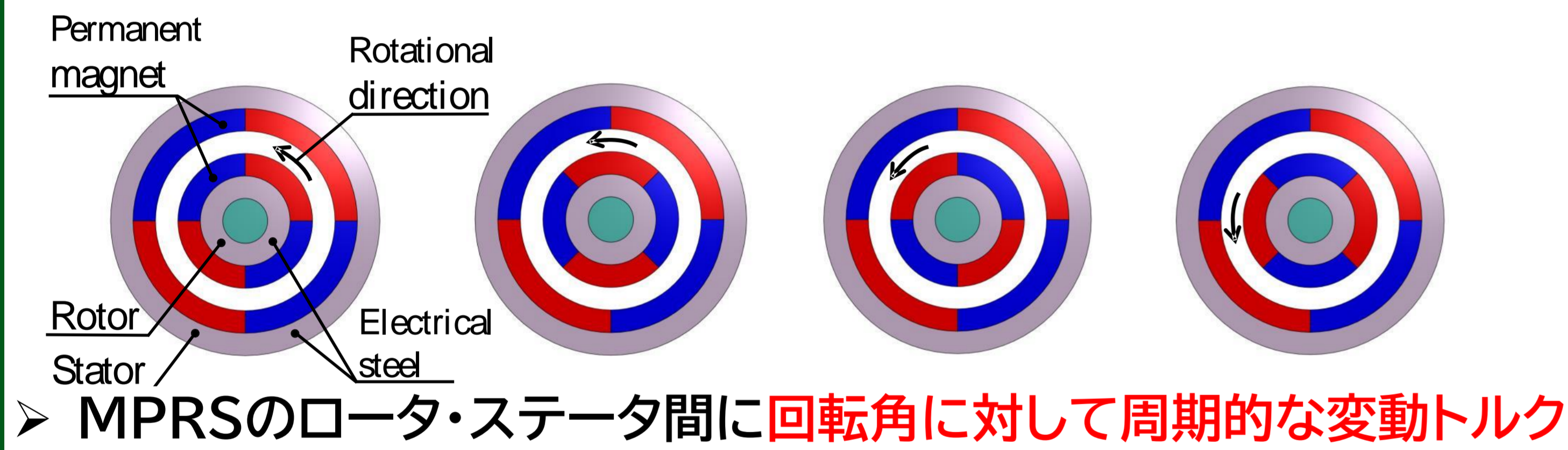
高効率・高出力密度といった利点から永久磁石同期モータが自動車や家電製品に幅広く利用されている。しかし、動作原理上トルクリップルと呼ばれるトルクの脈動が生じ、モータの振動や騒音の増加、速度制御や位置制御の応答性の低下等を招く問題がある。そこで、筆者らは**磁気式周期反転ばね(以下MPRS)**を用いて交流モータのトルクリップルを受動抑制する新たな手法を提案してきた。本手法では交流モータの出力軸に対して同心円上にMPRSを取り付けることで、MPRSと交流モータ、両者のトルクリップルが受動的に相殺される。MPRSは磁界解析上で最適設計され、peak-to-peak値を59.2%、特定の次数のトルクリップルを97.4%抑制可能であることが示された。加えて、MPRSに生じる渦電流損を三次元有限要素解析により求め、MPRSのモータ効率に及ぼす影響を確認した。さらに、MPRSとIPMSM両者のラジアル力脈動の振幅を算出し、比較することでMPRSを取り付けることによる騒音への影響を評価した。

トルクリップルの受動抑制原理

MPRSをIPMSMに統合した構造図



MPRSの動作原理



MPRSとIPMSMのトルクリップル

$$T_{IPMSM} = T_{DC} + \sum_{k=1}^n A_{IPMSMk} \cos\left(\frac{P_{IPMSM}}{2} 6k\theta + \varphi_{IPMSMk}\right)$$

$$T_{MPRS} = A_{MPRS} \cos\left(\frac{P_{MPRS}}{2} \theta + \varphi_{MPRS}\right)$$

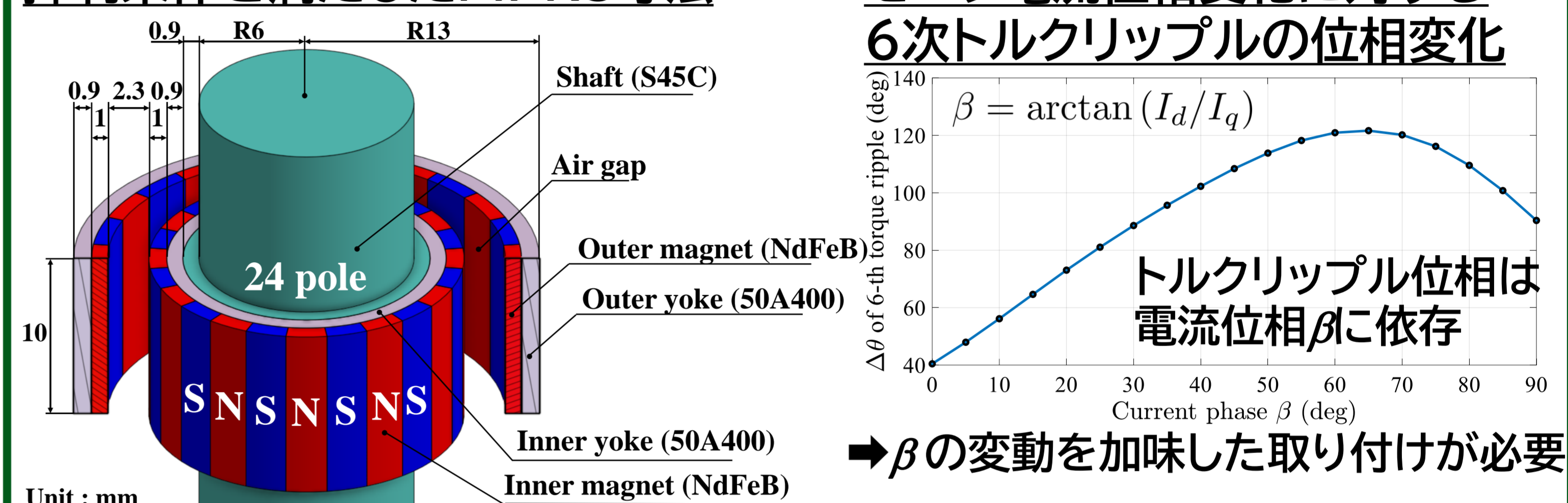
T_{IPMSM} : IPMSMトルク
 T_{MPRS} : MPRSトルク
 T_{DC} : 通電トルク
 k : 正の整数 φ : 位相差
 P : 極数 A : 振幅
 θ : ロータの回転角

トルクリップル抑制条件

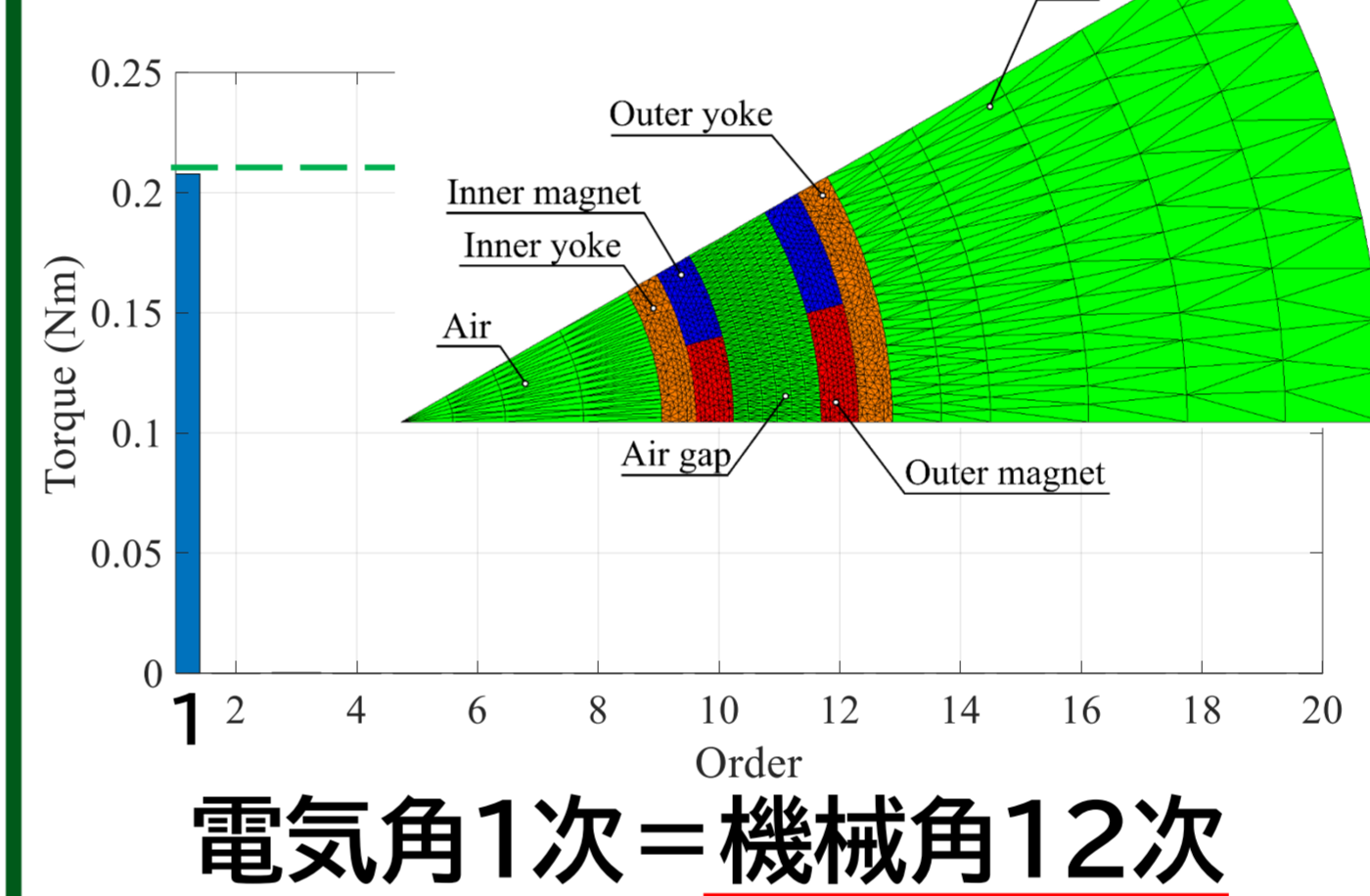
- ① 次数 $6P_{IPMSM}k = P_{MPRS}$
- ② 位相 $\varphi_{IPMSMk} = \varphi_{MPRS} - \pi$
- ③ 振幅 $A_{IPMSMk} - A_{MPRS} \rightarrow +0$

トルクリップル抑制効果

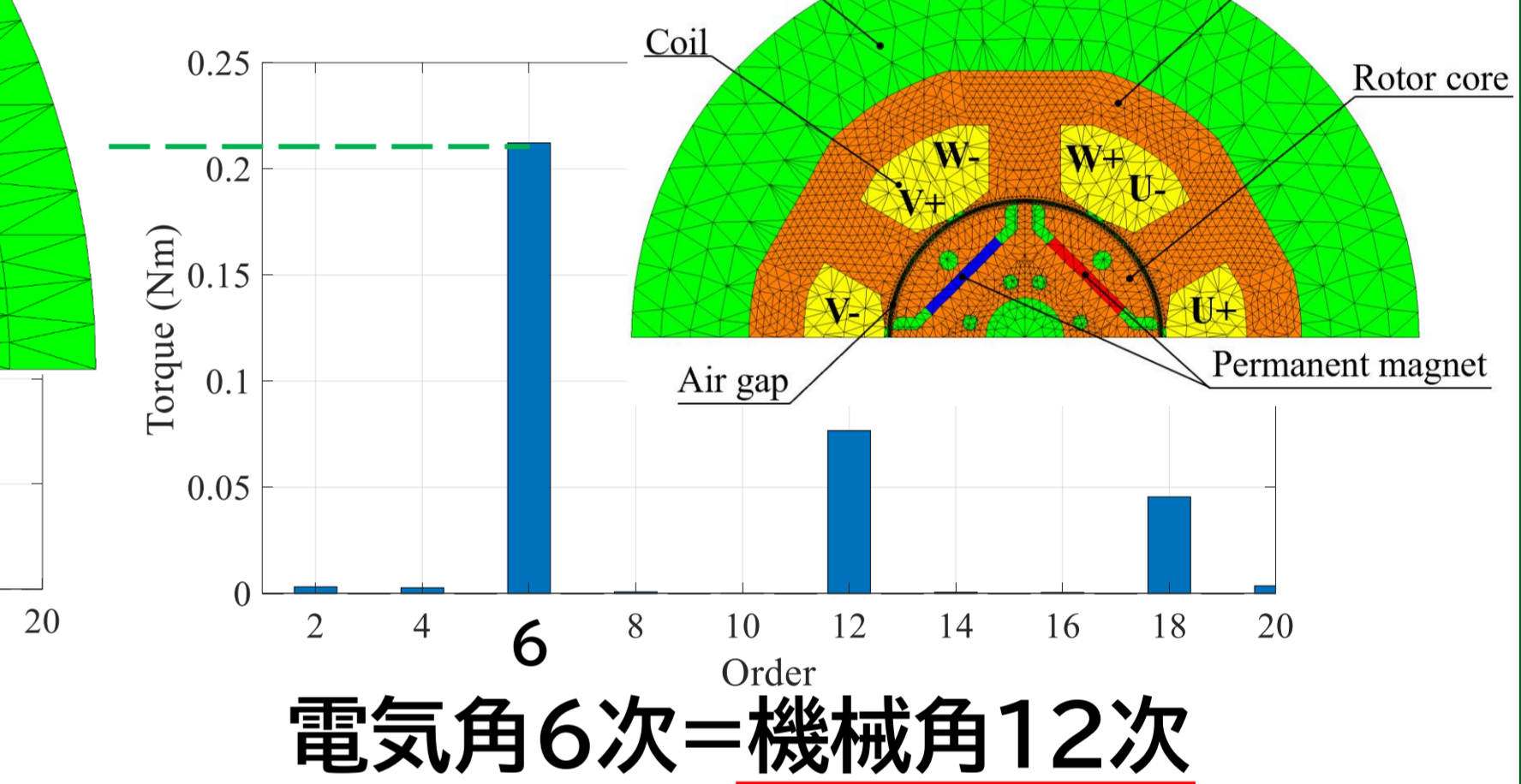
抑制条件を満たしたMPRS寸法



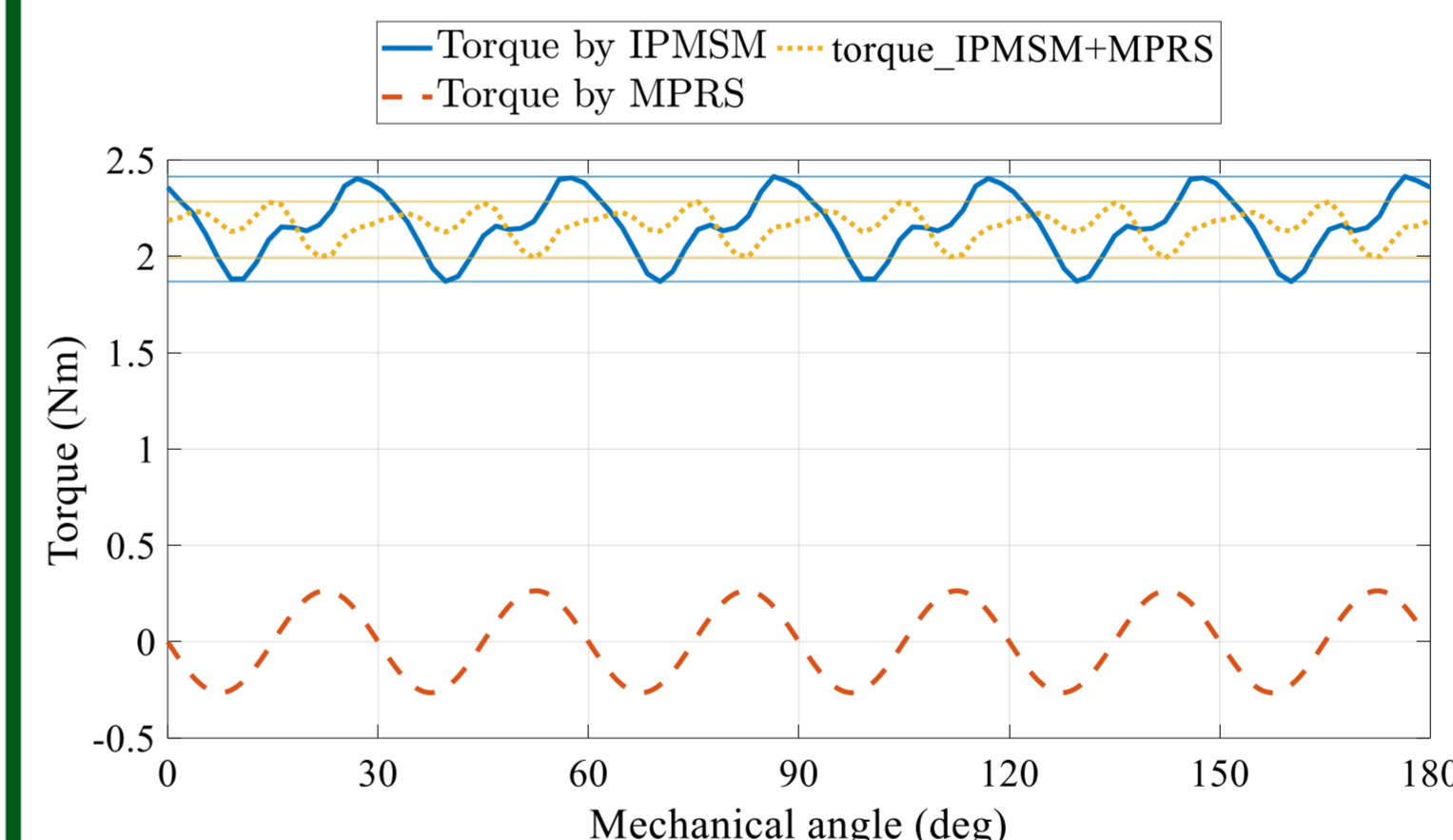
MPRSトルクリップルのFFT解析結果



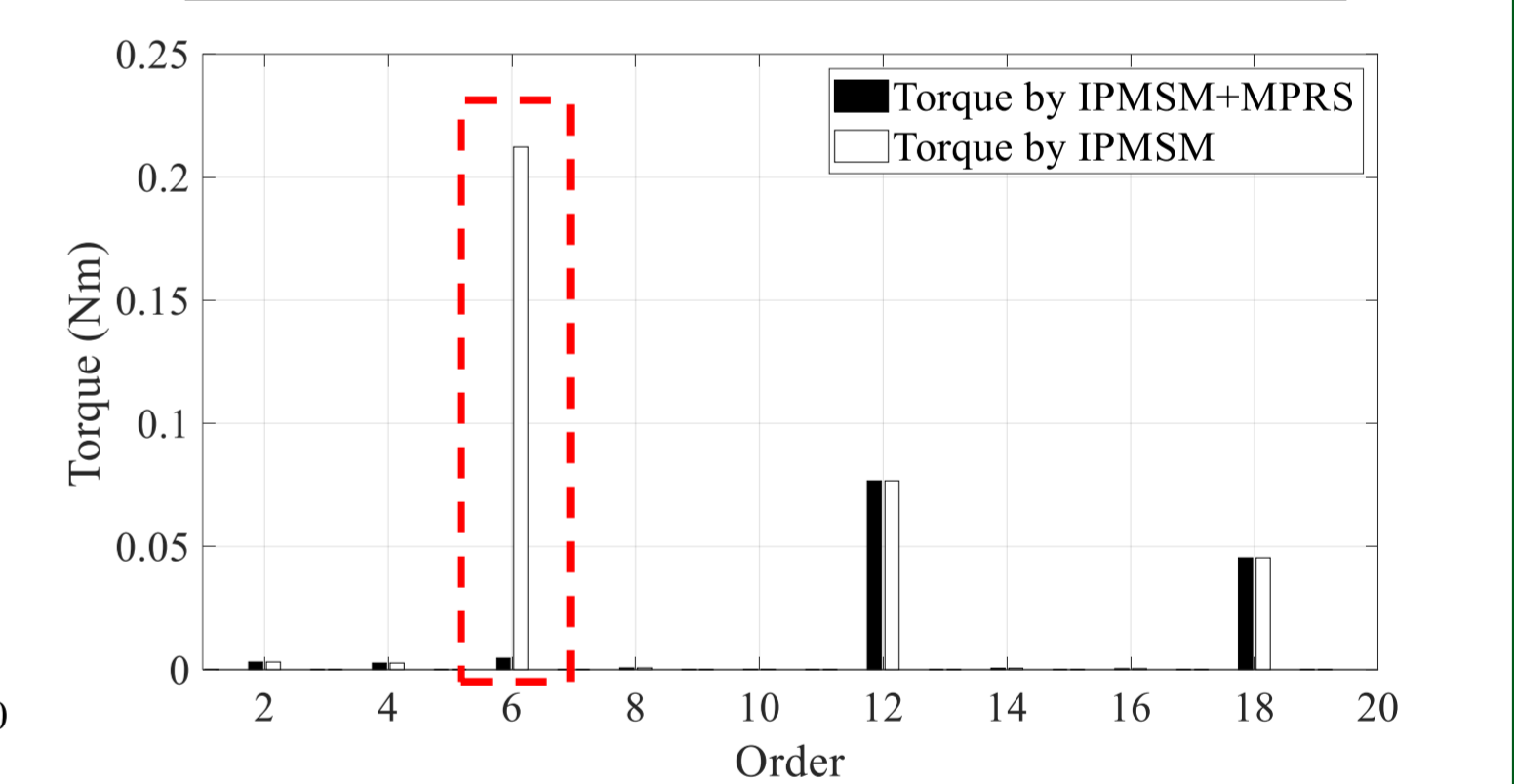
IPMSMトルクリップルのFFT解析結果



MPRS統合前後のトルクリップル波形

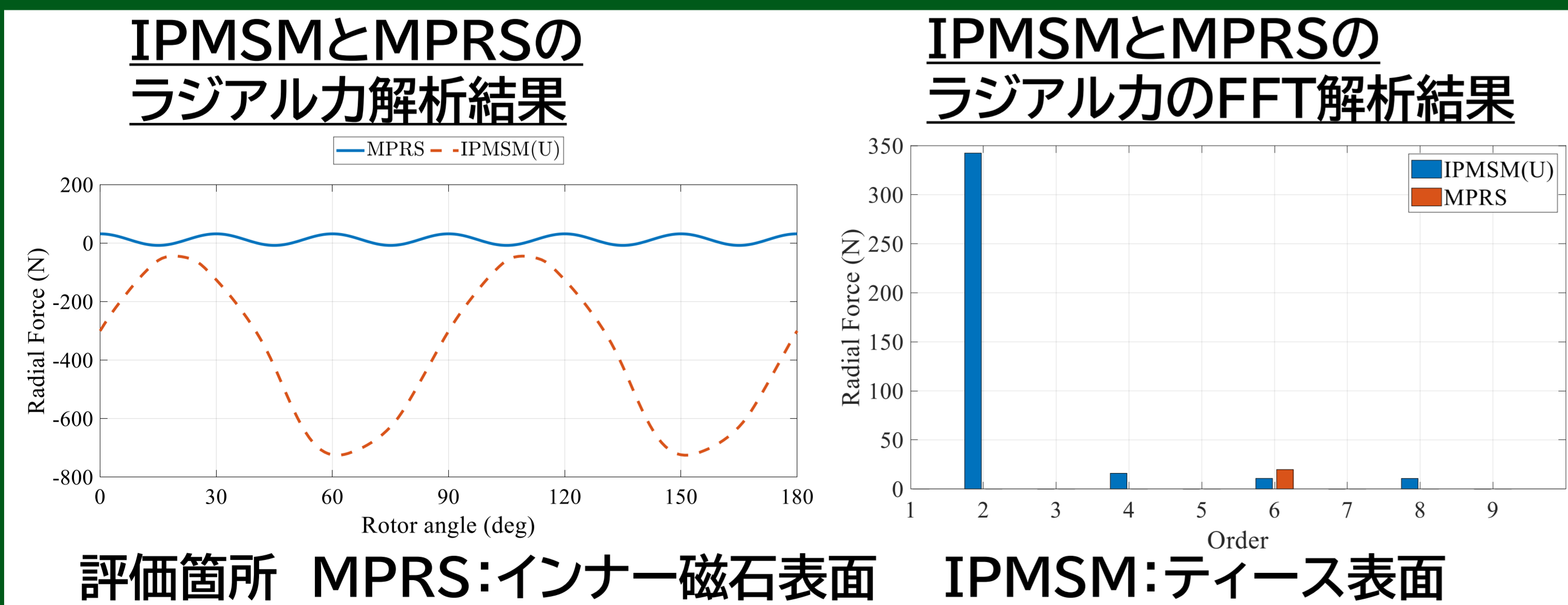


MPRS統合前後のトルクリップルFFT解析結果



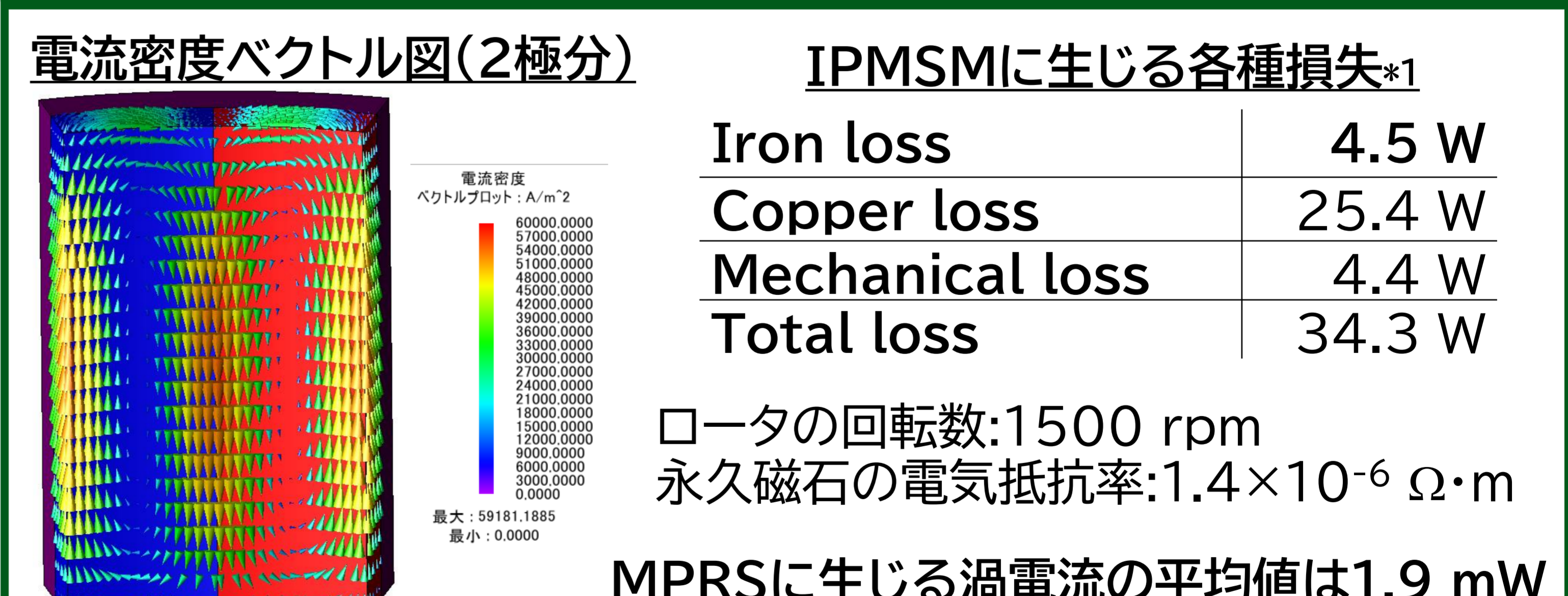
- トルクリップルのpeak-to-peak値を59.2%
- 6次トルクリップルを97.4%抑制

ラジアル力解析結果



MPRSに生じるラジアル力の振幅は、IPMSMラジアル力の主成分高調波の振幅と比較し1/17以下

渦電流損解析結果



MPRS鉄損 << IPMSM鉄損 であり効率低下の影響無

結論と今後の展望

- 振幅・位相・次数の条件を満たしたMPRSを用いることでトルクリップルのpeak-to-peak値を59.2%、6次トルクリップルを97.4%抑制可能
- MPRSに生じる渦電流損はIPMSMに生じる渦電流損に比べて1/1000以下であり、MPRSの取り付けによるモータ効率低下は僅少
- 三次元有限要素解析によりMPRSとIPMSMに生じるラジアル力を数値評価
 - 騒音への影響を数値的に検証するには至らなかったため、今後更なる検討が必要
- MPRSとIPMSMの軸方向の磁気干渉の有無とその影響を磁界解析により確認した後、実機検証を行う予定