

強磁性層多層膜におけるスピンホール効果 を介したスピン注入

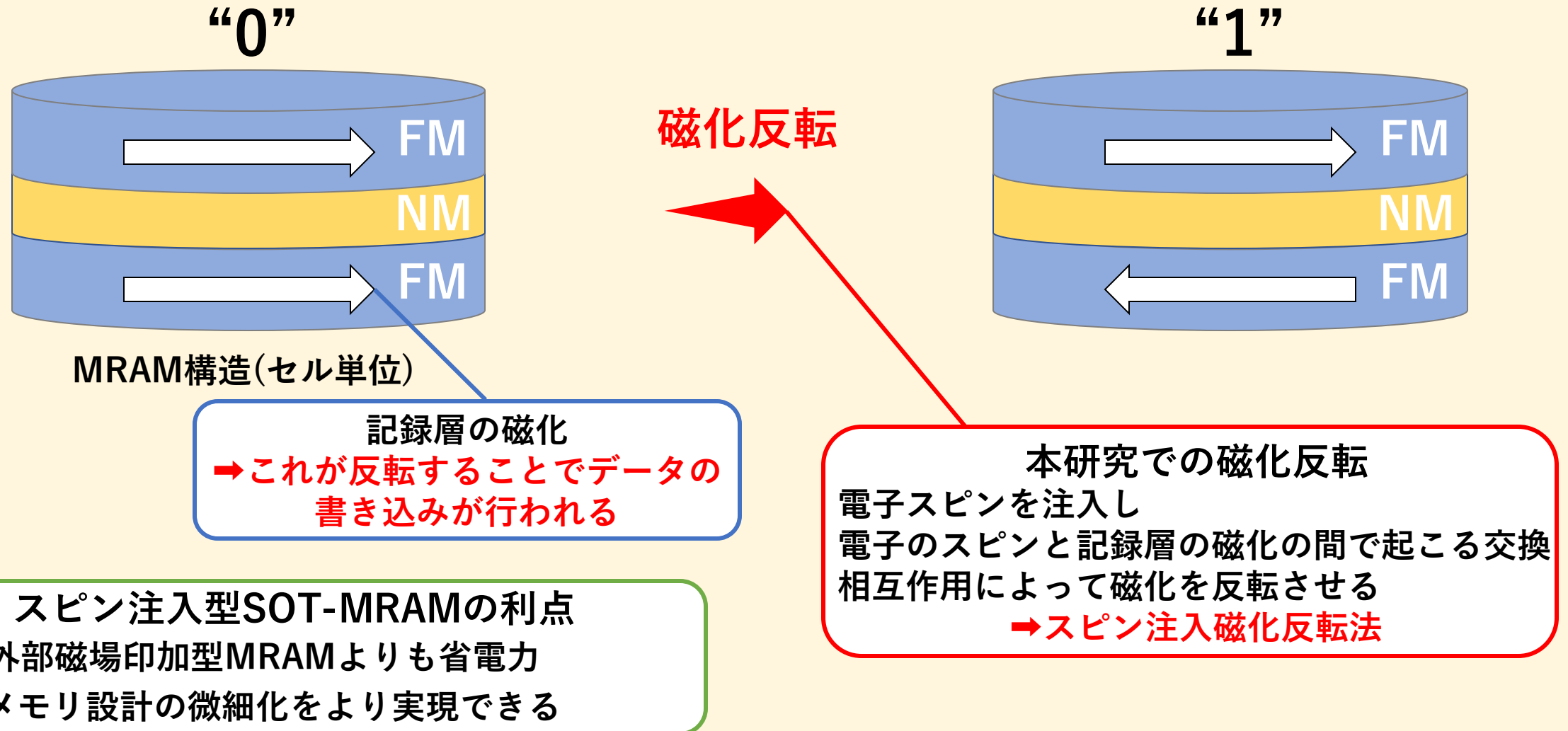
関西大学 システム理工学部 物理・応用物理学科

所属：物性理論研究室 本多グループ

物20-0031 小林聖波

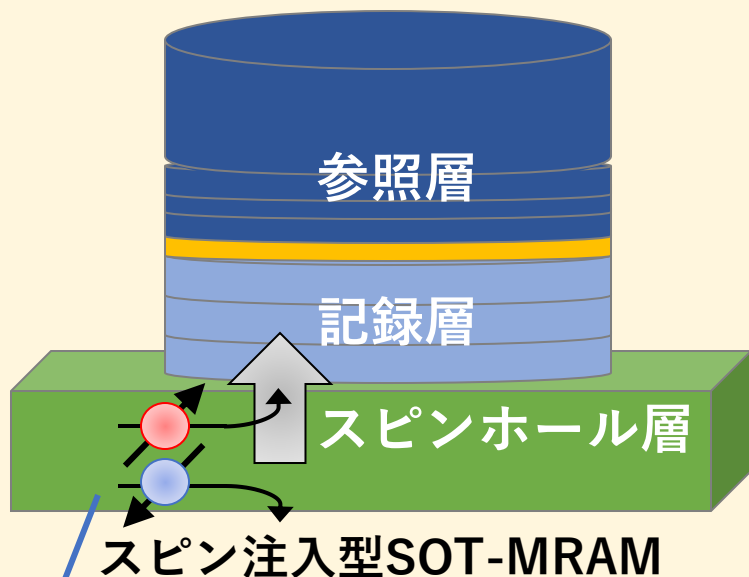
SOT-MRAMの書き込み技術

不揮発性磁気メモリ (SOT-MRAM)



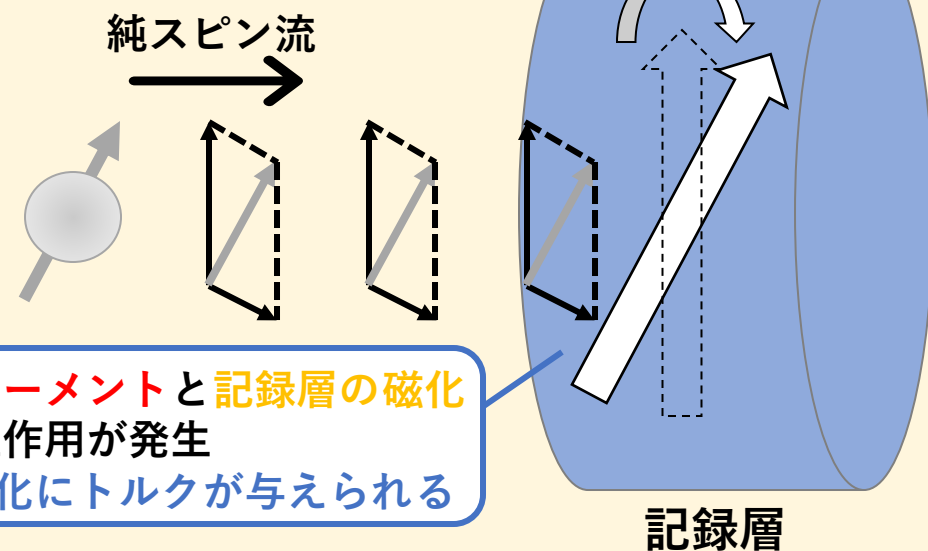
スピン注入型SOT-MRAMと従来の高速化手法

スピン注入型SOT-MRAM



スピンホール効果によるスピン分極
→純スピン流の生成

スピンホール効果によって生成された純スピン流を記録層に注入し、スピン軌道トルク (Spin orbit torque : SOT) によって磁化反転(データ書き込み)を行う



スピンの磁気モーメントと記録層の磁化
の間に交換相互作用が発生
→記録層の磁化にトルクが与えられる

データ書き込みを高速化する従来の手法

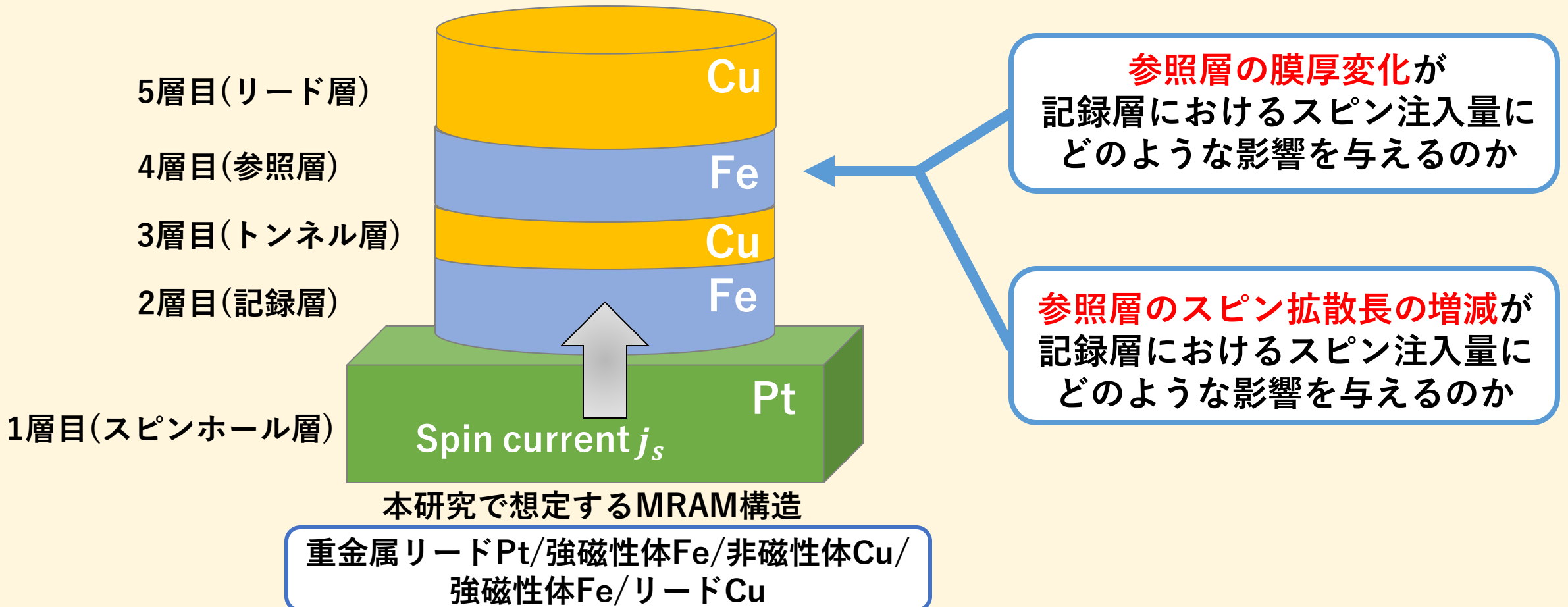
→材料探索による高速化の検討
(スピンホール効果の強い材料を用いる)

スピンホール材料として用いられる主な重金属

- ・ タンタル (Ta)
- ・ プラチナ (Pt)
- ・ タングステン (W)

研究目的

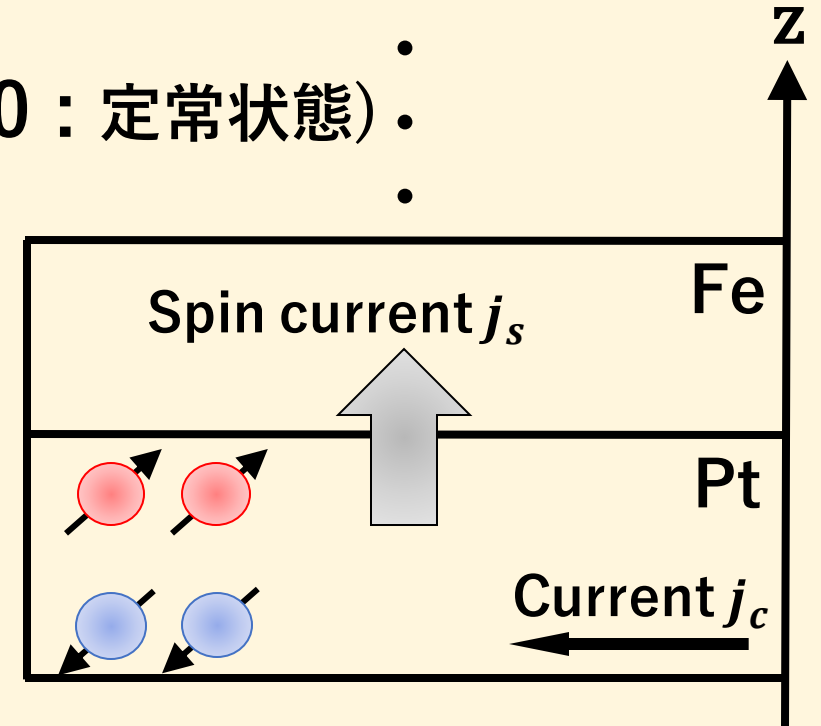
SOT-MRAM多層構造における純スピンの流れを数値計算により導出し
MRAM素子の構造操作による高速化を検討する



スピン流の数値計算手法

$$\frac{\partial}{\partial t} (\overset{\text{キャリア密度 (アップスピン)}}{n_{\uparrow}} - \overset{\text{キャリア密度 (ダウンスピン)}}{n_{\downarrow}}) = -\frac{1}{q} \frac{\partial}{\partial z} (\overset{\text{スピンドラフト}}{j_{\uparrow}} - \overset{\text{スピンドラフト}}{j_{\downarrow}}) - \overset{\text{スピンドラフト}}{\frac{n_{\uparrow} - n_{\downarrow}}{\tau}} (=0 : \text{定常状態})$$

$$\begin{cases} j_{\uparrow} = \overset{\text{ドリフト項}}{\sigma_{\uparrow} E_z} - \overset{\text{拡散項}}{qD_{\uparrow} \frac{\partial n_{\uparrow}}{\partial z}} - \overset{\text{スピントラップ}}{\theta_{SH} \frac{n_{\uparrow}}{n_{\uparrow} + n_{\downarrow}} j_c} \\ j_{\downarrow} = \overset{\text{ドリフト項}}{\sigma_{\downarrow} E_z} - \overset{\text{拡散項}}{qD_{\downarrow} \frac{\partial n_{\downarrow}}{\partial z}} + \overset{\text{スピントラップ}}{\theta_{SH} \frac{n_{\downarrow}}{n_{\uparrow} + n_{\downarrow}} j_c} \end{cases}$$

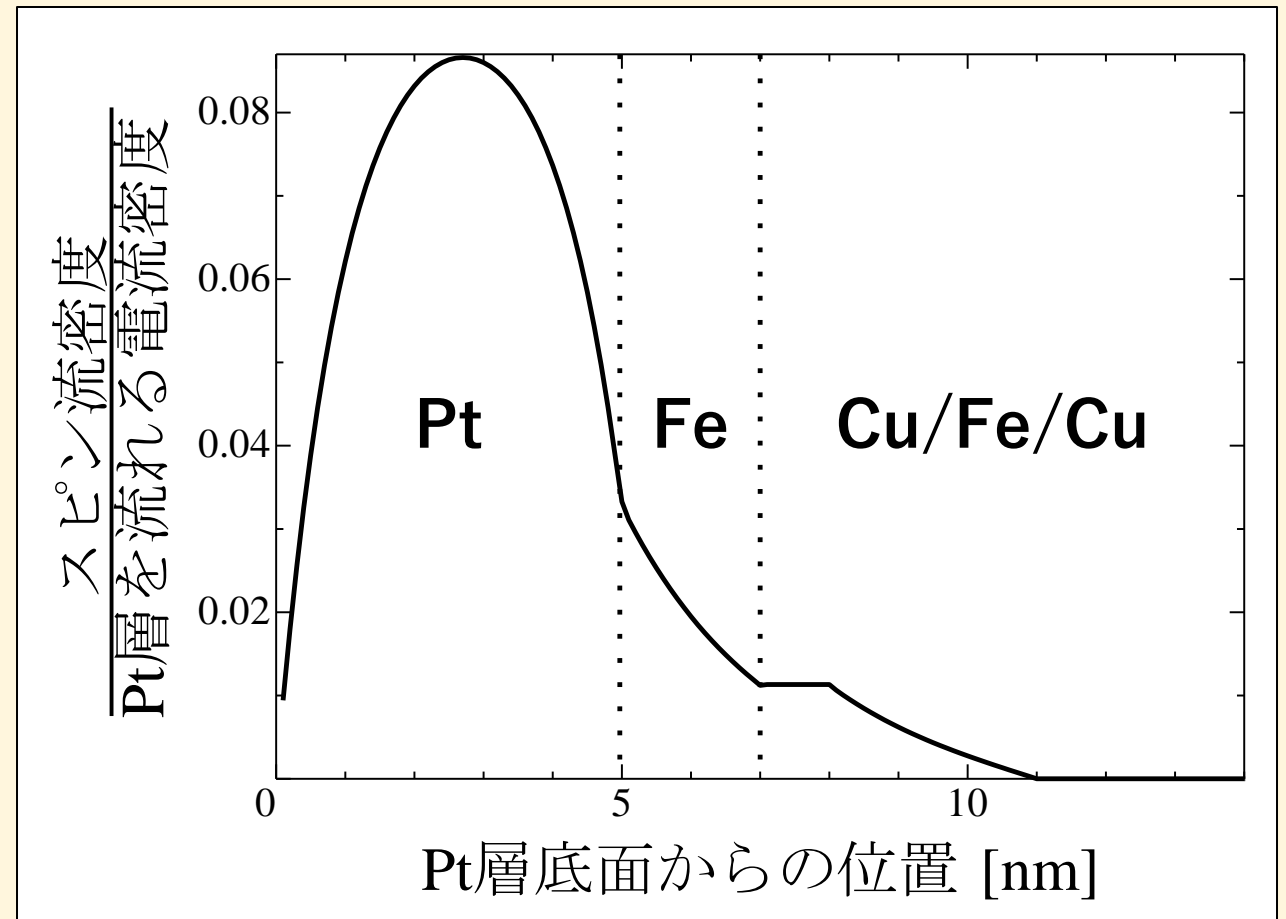
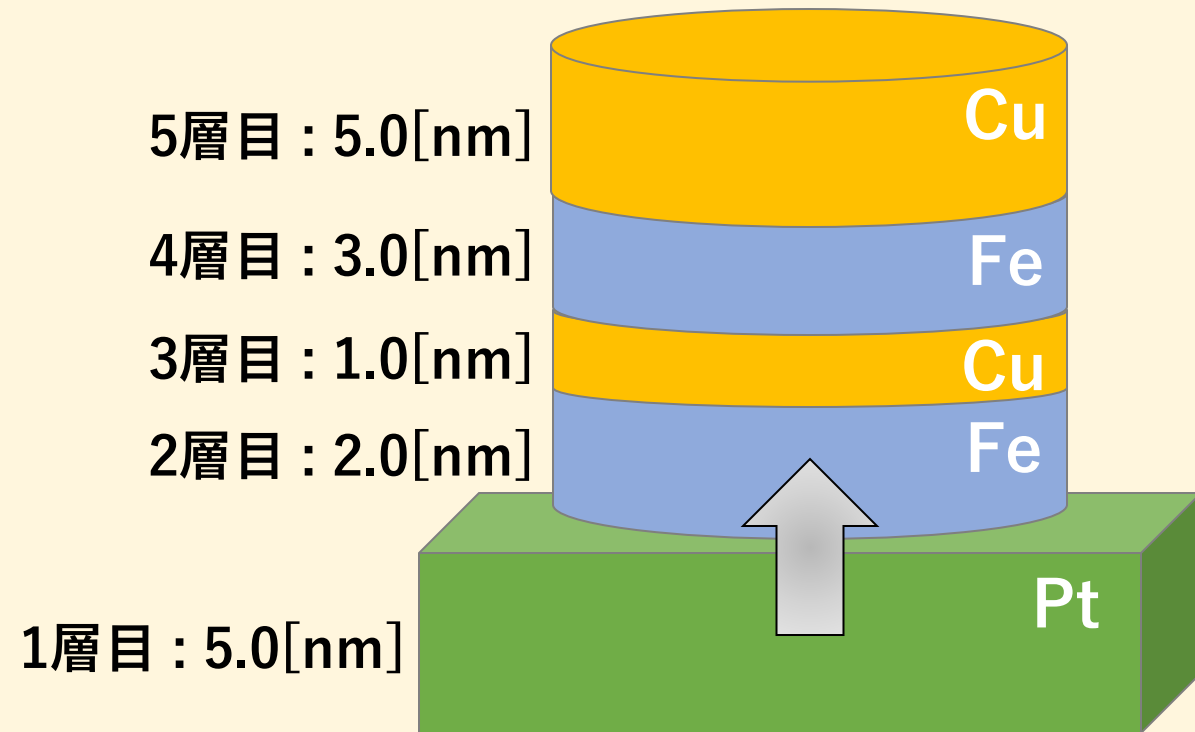


導電率 $\sigma_{\uparrow(\downarrow)}$, 拡散係数 $D_{\uparrow(\downarrow)}$ はスピンの依存しないと仮定し
 $\sigma = \sigma_{\uparrow} = \sigma_{\downarrow}$, $D = D_{\uparrow} = D_{\downarrow}$ と近似

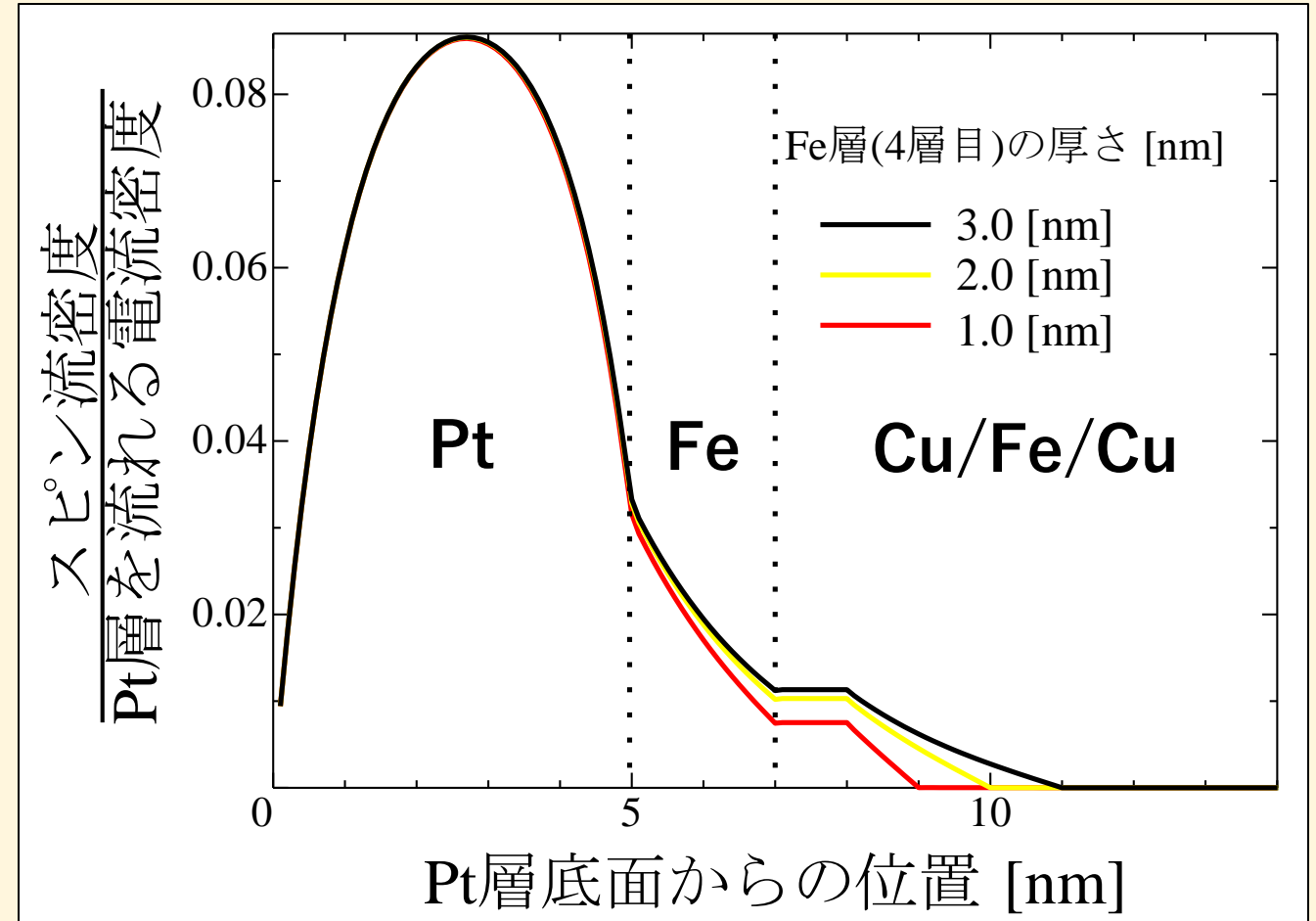
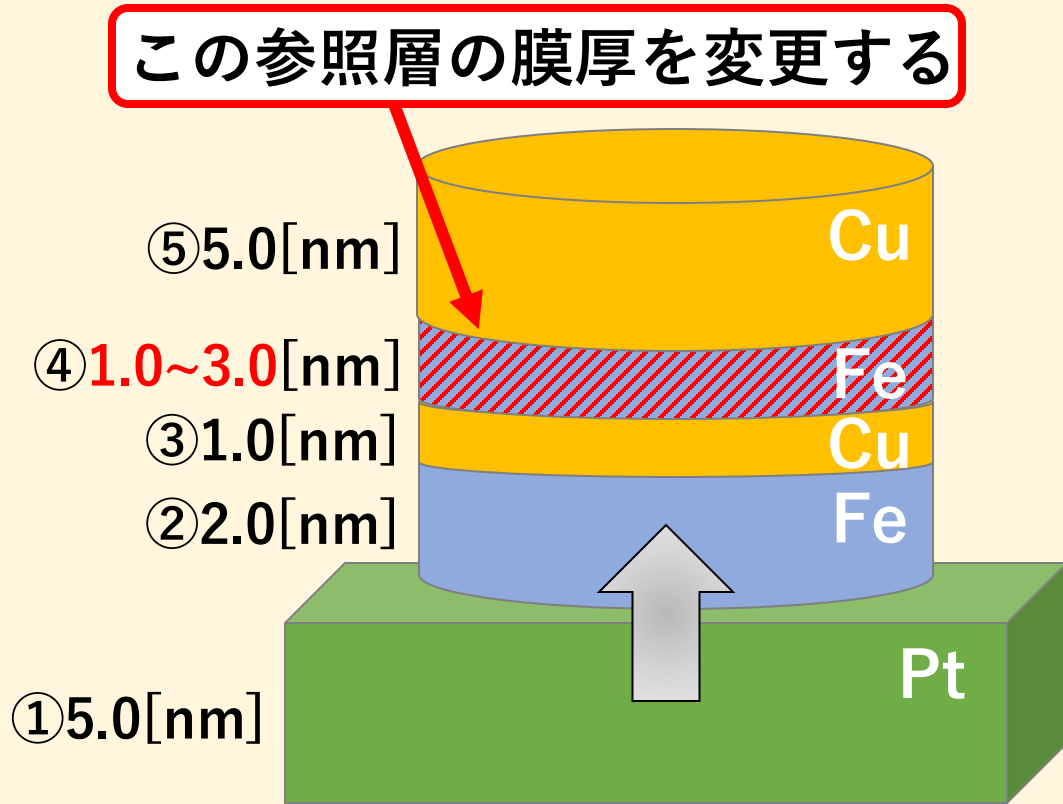
$$j_s = j_{\uparrow} - j_{\downarrow} = -qD \frac{\partial}{\partial z} (n_{\uparrow} - n_{\downarrow}) - \theta_{SH} j_c$$

数値データの可視化

各層を流れる純スピン流



膜厚を薄くすることによるスピン注入量の増加



参照層(4層目)が薄くなるにつれ

記録層(2層目)におけるスピン流出量の減少を確認

→ 記録層(2層目)のスピン注入量の増加に成功

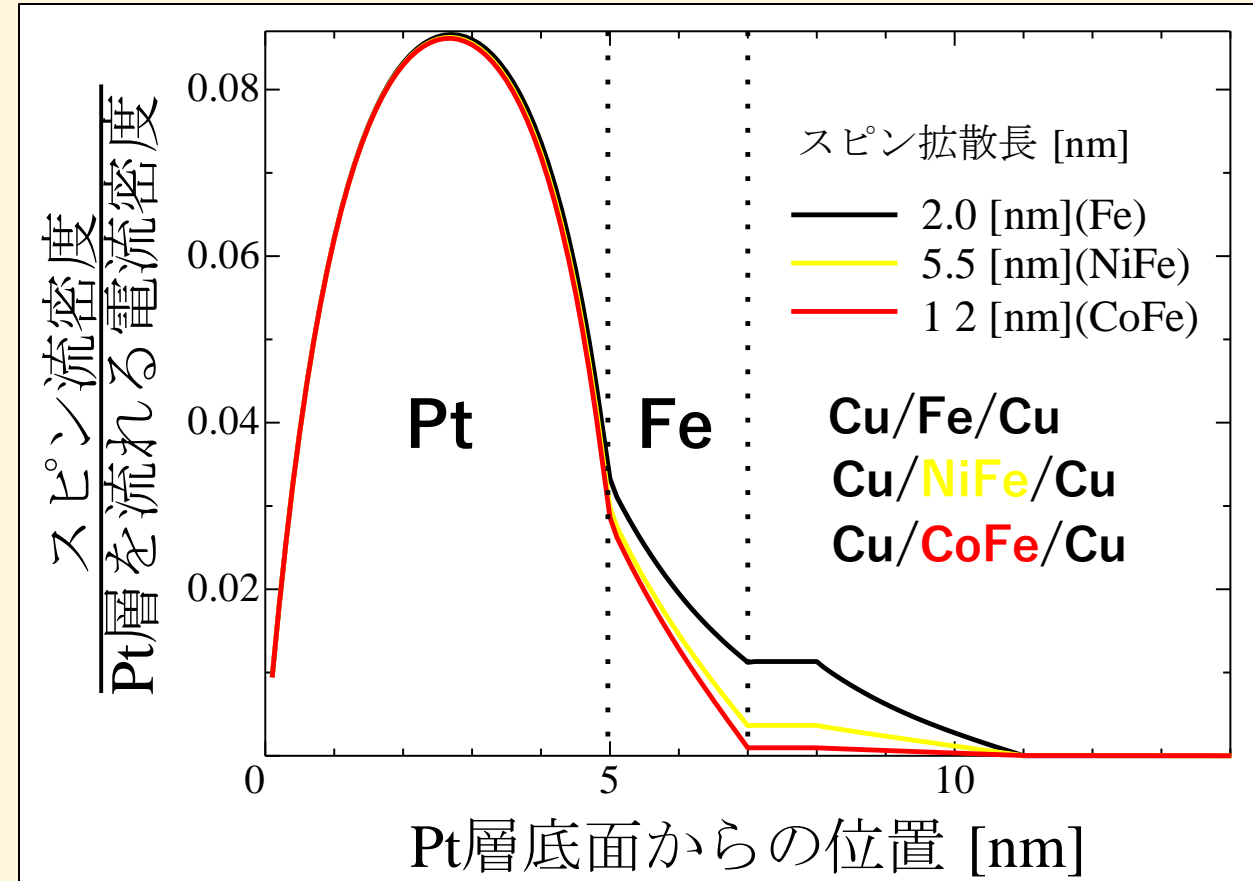
スピン拡散長の増加に伴うスピン注入量の増加

	Fe	NiFe	CoFe
スピン拡散長	2.0	5.5	12

参照層(4層目)のスピン拡散長が増加するにつれ、記録層(2層目)のスピン注入量の増加を確認

→スピン注入量とスピン拡散長には依存関係が存在する

→スピン拡散長の長い材料を用いれば更なる高速化が見込める



※4層目の参照層は3.0[nm]で固定

結論

- SOT-MRAM多層構造において、参照層におけるメモリ素子の膜厚及びスピン拡散長と記録層におけるスピン注入量の間に依存性が存在することが明らかになった
- ➡データ書き込み高速化手法として、従来のスピホール材料の探索・開発に加え、メモリ素子(参照層)の膜厚を薄く調整し、さらにスピン拡散長の長い参照層材料を探索・開発することで更なる高速化が見込める