

## 1. 諸言

核融合原型炉では、冷却材として高温高压水が想定される。

ブランケットから透過漏洩したトリチウム(T)は、一次冷却水中に移行し、さらに熱交換器を介して二次冷却水へ移行する[1]

T安全管理の観点から、一連のT移行速度を評価し、水処理システムの規模や発電システムメンテナンス時のT管理対策を検討

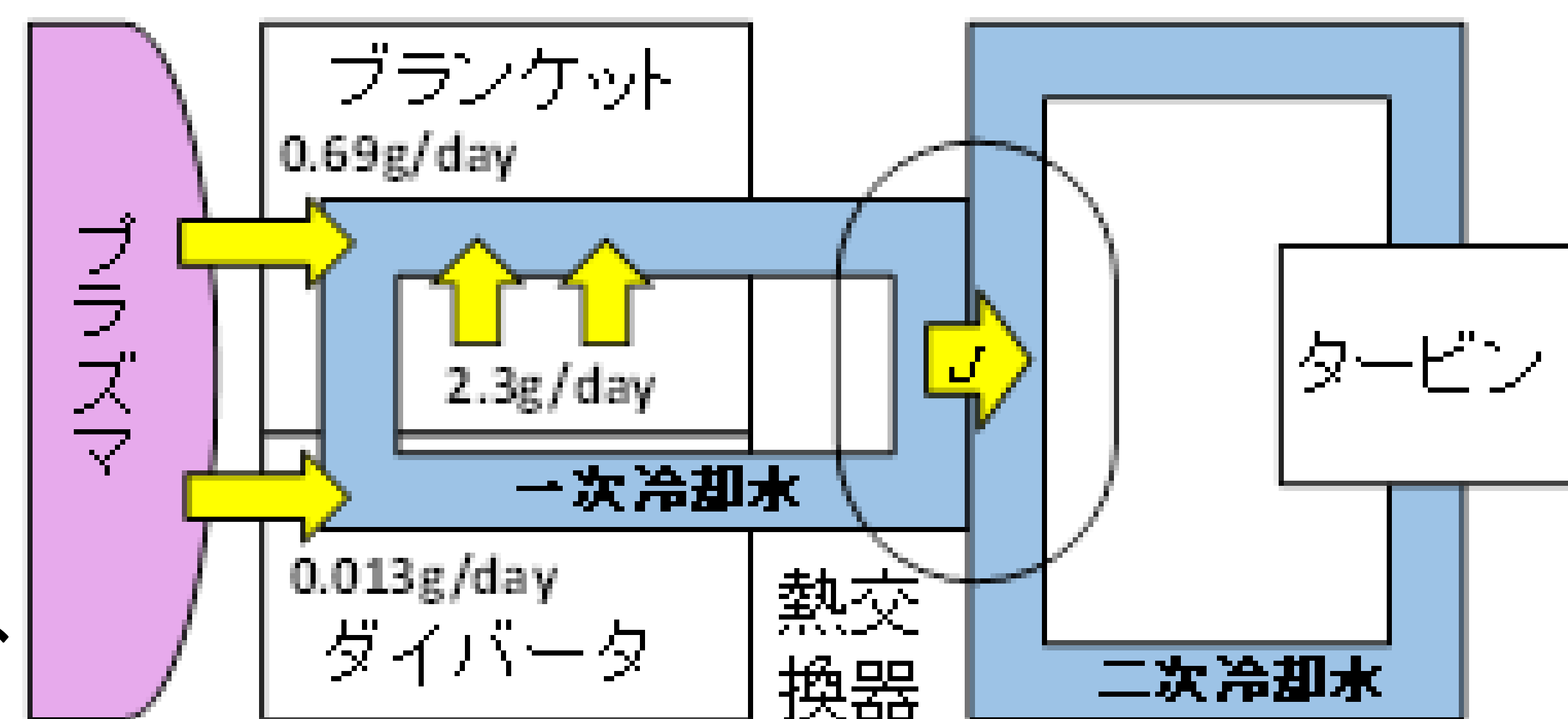


図1 単純化した冷却システム

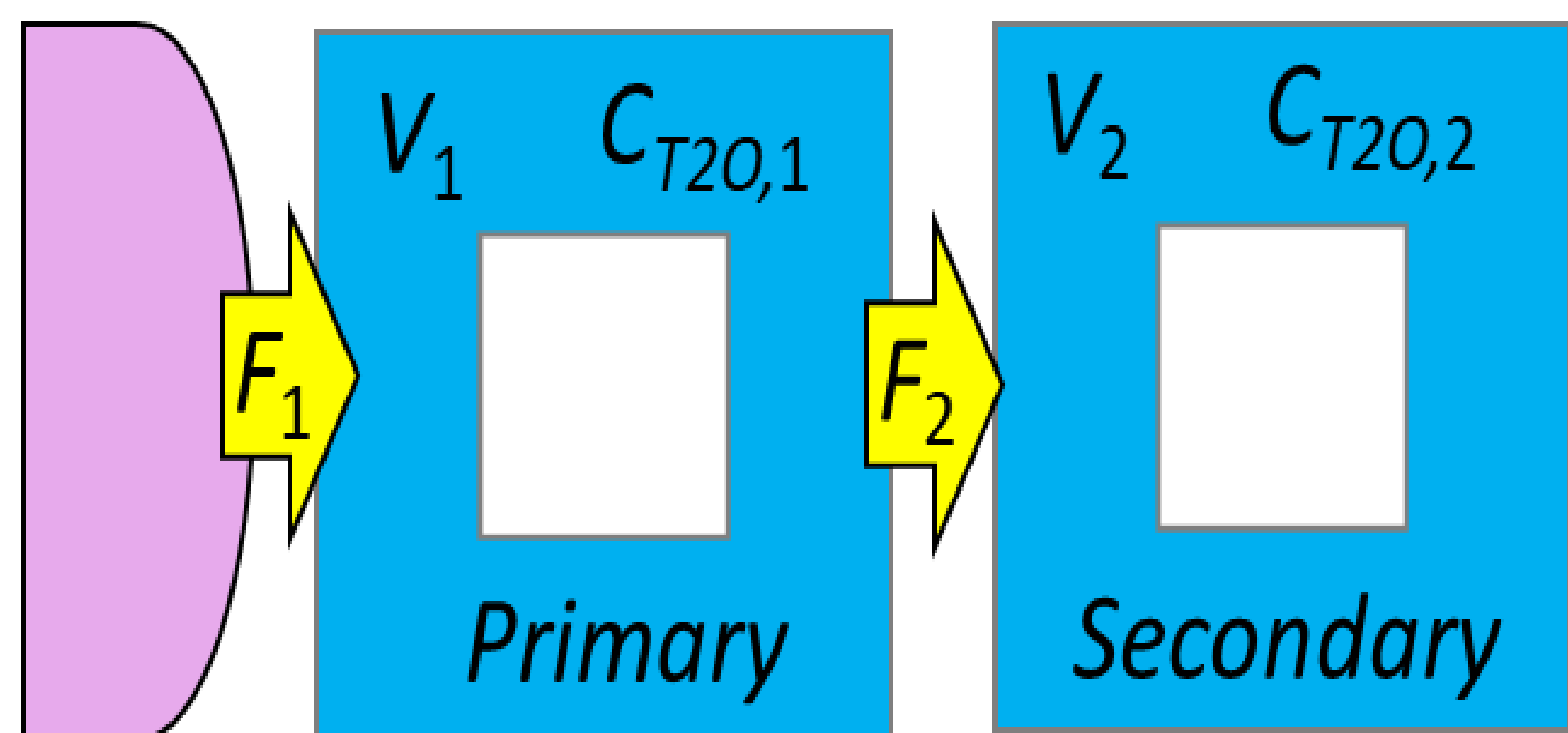
### 先行研究

プラズマからダイバータに入射されたTの冷却水への移行速度は、0.013g-T/day、ブランケット第一壁では0.69g-T/day、ブランケット増殖部では2.3g-T/dayと評価されている。各値を足し合わせると、ダイバータおよびブランケットから冷却水へ移行するTは、約3g-T/dayとなる[2]  
 熱交換器で使用されるインコネルを介した高温高压水間でのT移行速度が評価されており、300°C、17MPaにおける0.166MBq/ccのT水から軽水へのT透過流束 $J_{exp}$ は、 $1.12 \times 10^{-15} \text{ mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ である[3]

### 本研究

先行研究によるトリチウム移行速度評価値を用いて、一次冷却水および二次冷却水のT濃度変化を見積もった。

## 2. 評価方法



### パラメータ

$k_1, k_2$ : 物質移動係数[m/s]  
 $C_{T20}$ : 水中のT濃度[mol-T<sub>2</sub>O/m<sup>3</sup>]  
 $V_1, V_2$ : 一次、二次冷却水量[m<sup>3</sup>]  
 $S$ : 伝熱管面積[m<sup>2</sup>]

$$V_1 = 120 \text{ m}^3, V_2 = 700 \text{ m}^3, S = 23500 \text{ m}^2$$

現状では、T透過に対するT濃度依存性が不明であることから、T濃度の1次に比例する場合と、T濃度の2次に比例する場合を仮定

$$J_1 = k_1 C_{T20,1}, J_2 = k_2 C_{T20,1}^2$$

$J_{exp}$ と $C_{T20}$ から物質移動係数は、 $k_1 = 1.45 \times 10^{-11}$ ,  $k_2 = 1.88 \times 10^{-7}$ が求まった。  
 下の物質収支式に各パラメータを代入し、T濃度変化を算出

### 物質収支式

二次側への透過速度が一次側のT濃度の1次に比例

$$V_1 \frac{dC_{T20,1}}{dt} = F_1 - F_2 = F_1 - k_1 S (C_{T20,1} - C_{T20,2})$$

$$V_2 \frac{dC_{T20,2}}{dt} = F_2 - 0 = k_1 S (C_{T20,1} - C_{T20,2})$$

二次側への透過速度が一次側のT濃度の2次に比例

$$V_1 \frac{dC_{T20,1}}{dt} = F_1 - F_2 = F_1 - k_2 S (C_{T20,1}^2 - C_{T20,2}^2)$$

$$V_2 \frac{dC_{T20,2}}{dt} = F_2 - 0 = k_2 S (C_{T20,1}^2 - C_{T20,2}^2)$$

## 3. 評価結果

### 一次冷却水

・CANDO炉でのT濃度は約1TBq/kgであるが、約100日の運転で同濃度に達した。

### 二次冷却水

一次反応を仮定した場合  
 ・濃度は国内での排水中のトリチウム濃度限度60Bq/ccの基準内であった。

二次反応を仮定した場合  
 ・150日後の運転で濃度は0.262GBq/kgに達した。

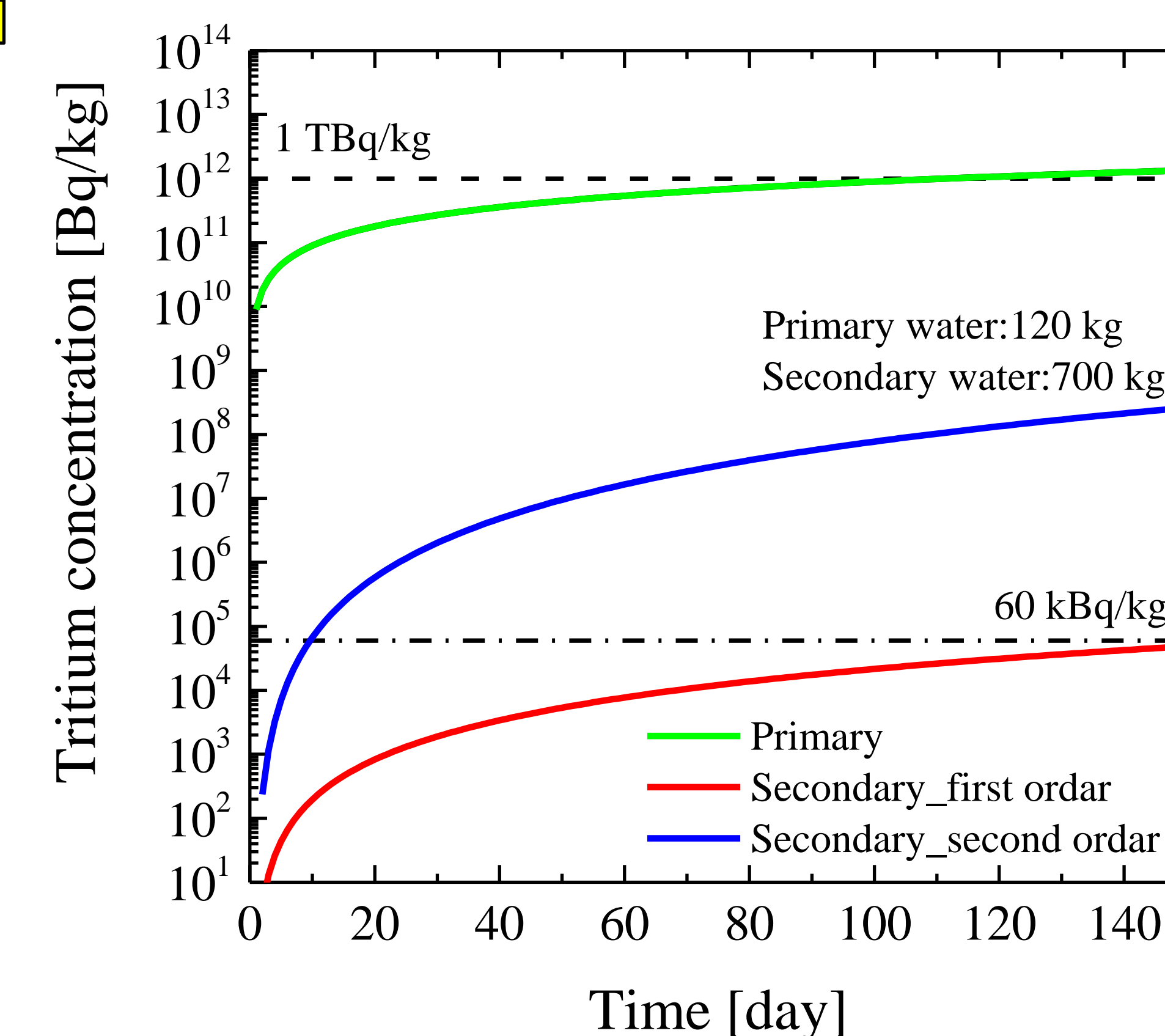
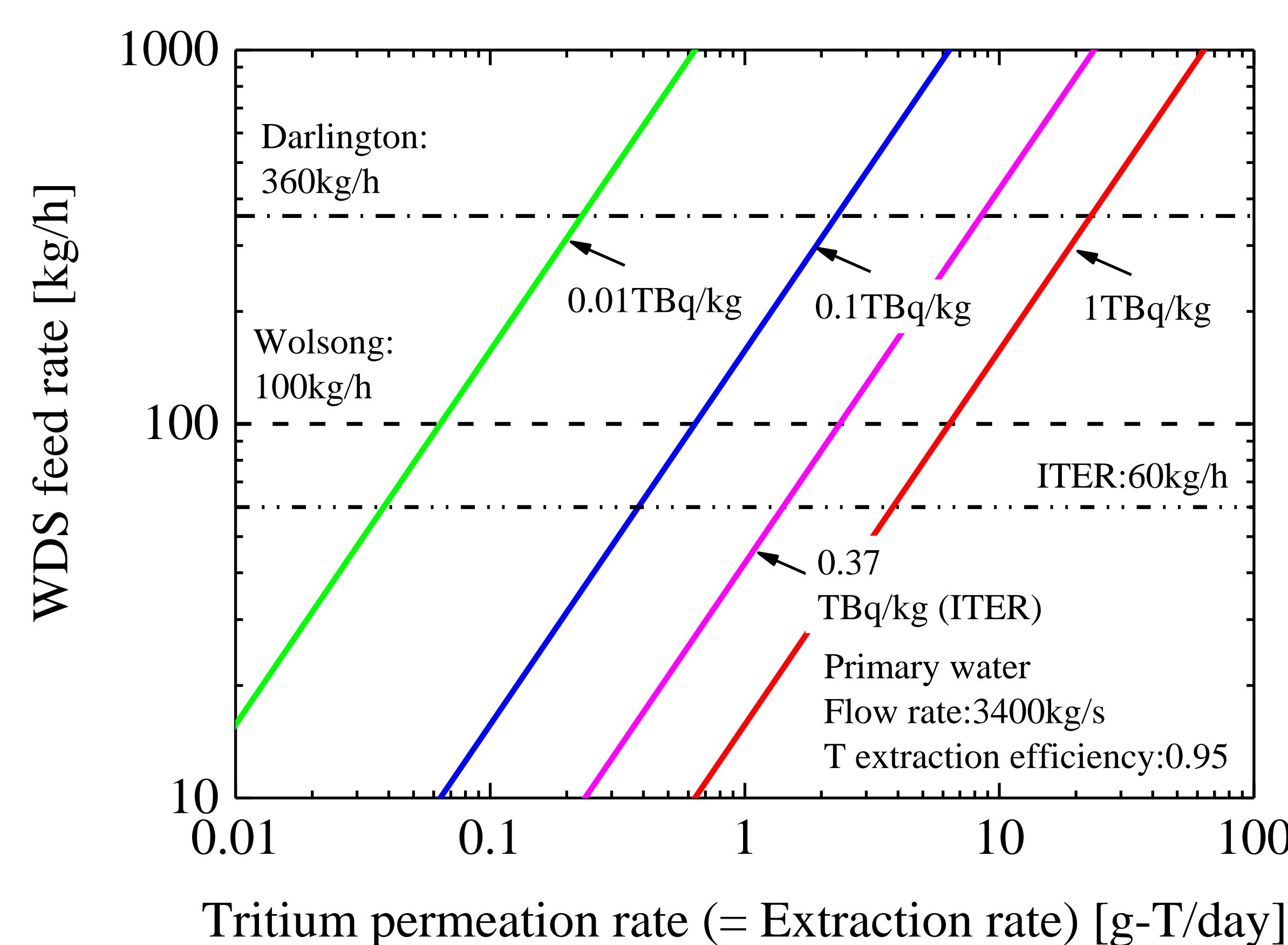
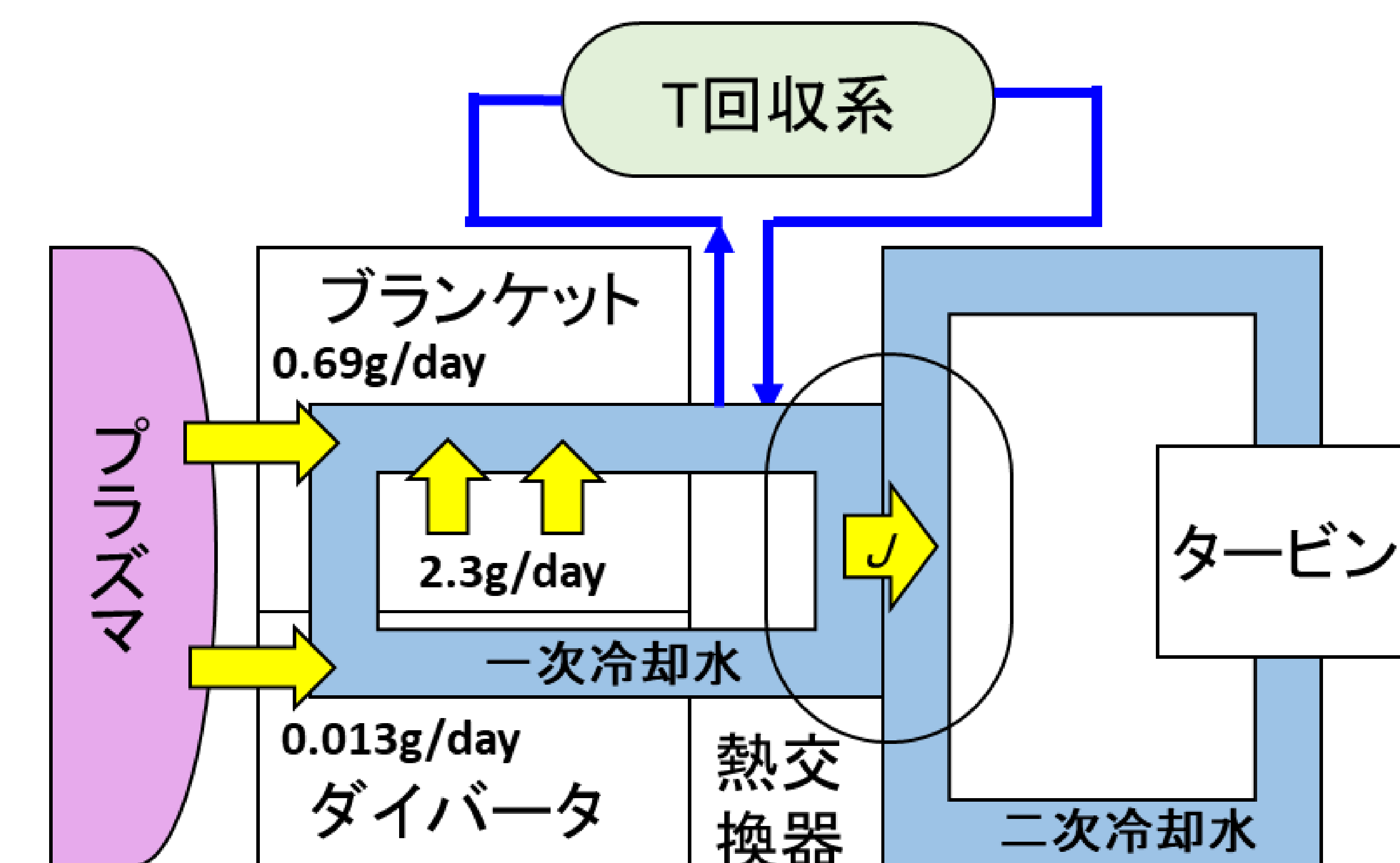


図2 一次及び二次冷却水のT濃度変化



透過速度が3g/dayで濃度を1TBq/kgを超えないように維持するのであれば、100kg/hつまり既存技術で対応可能であることがわかった。



## 4. まとめ

・先行研究によるトリチウム移行速度評価値を用いて、一次冷却水および二次冷却水のT濃度変化を見積もった。透過速度のT濃度依存性が不明のため、1次側濃度の1次に比例する場合と1次側濃度の2次に比例の2つの仮定で計算した。

・評価結果より、一次冷却水は約100日の運転でCANDO炉でのT濃度約1TBq/kgに達した。透過速度3g/dayで濃度を1TBq/kgを超えないように維持するのであれば、既存のT処理技術で対応可能なことがわかった。

## 5. 参考文献

[1] R. Hiwatari et al., Fusion Eng. Des. 143 (2019) 259–266.  
 [2] K. Katayama et al., Fusion Eng. Des. 169 (2021) 112576.  
 [3] K. Katayama et al., J. Nucl. Mater. 565 (2022) 153723.