

# 無線センサネットワーク用 可変指向性MACプロトコルにおける セクタ内衝突回避方式

---

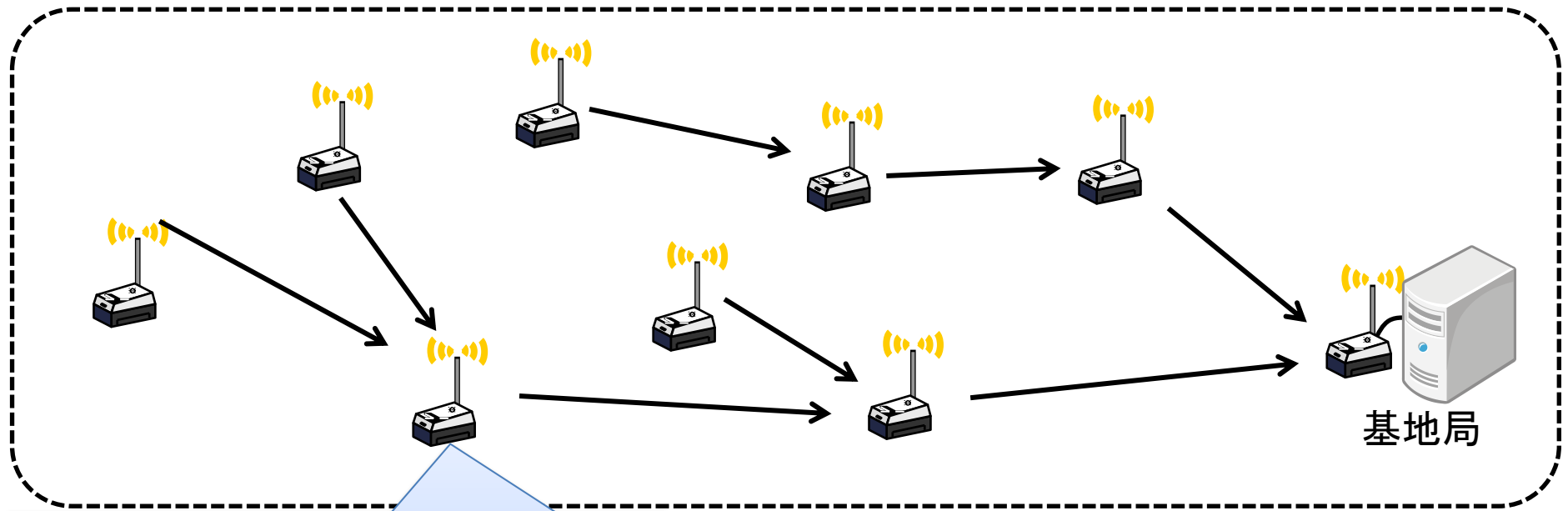
電気・電子情報工学専攻 情報通信システム分野

ワイヤレス通信研究室

博士前期課程2年 甲斐祐弥

指導教員：上原秀幸

# 無線センサネットワーク(WSNs: Wireless Sensor Networks)



## センサノード



- 通信モジュール
- センサ
- MPU(CPU)
- バッテリー

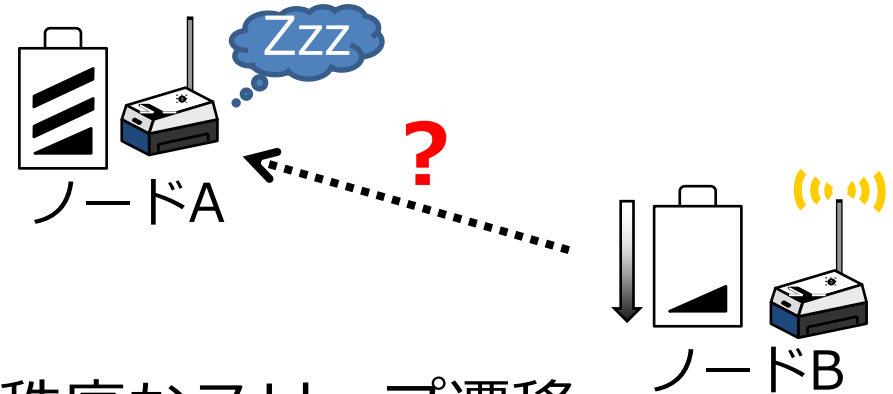
森林, 構造物などの  
適応分野: カメラを用いた  
多地点モニタリング

長期稼働のために**省電力化**, **高スループット化**が必要

# 目的

各通信状態における消費電流

送信状態(3dBm)	16.5mA
受信状態	15.5mA
スリープ状態	<b>20<math>\mu</math>A</b>



無秩序なスリープ遷移  
⇒消費電力増加, スループット低下

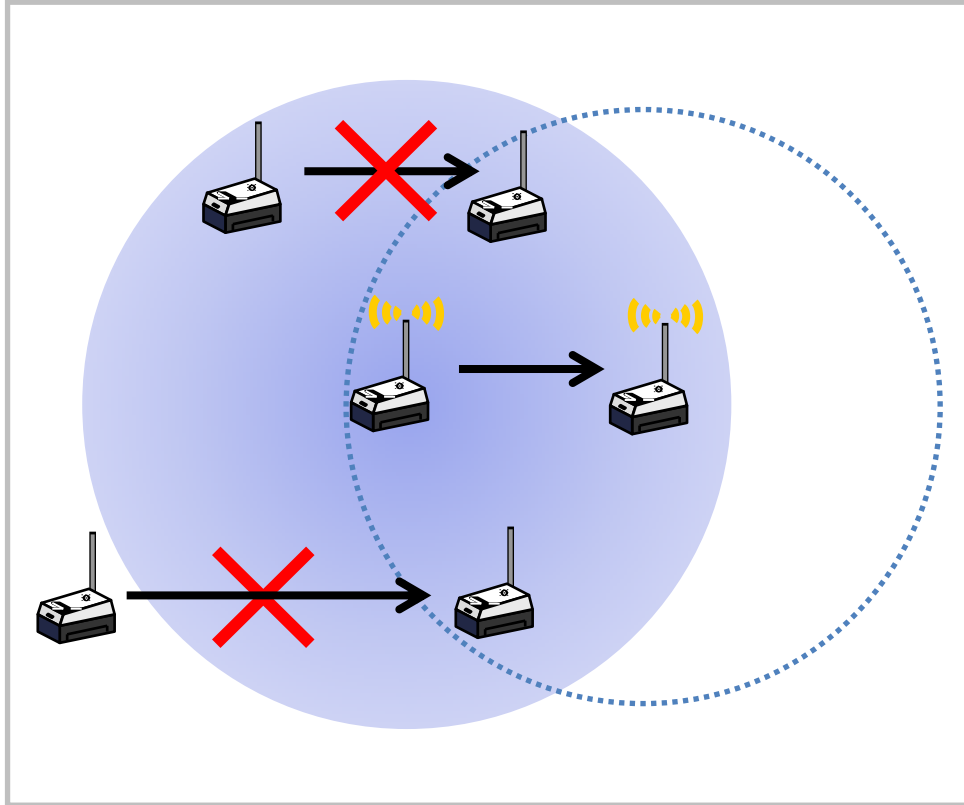
適切なメディアアクセス制御手法(MAC)が必要

**目的:** 高スループットかつ低消費電力を目指した  
MACプロトコルの設計

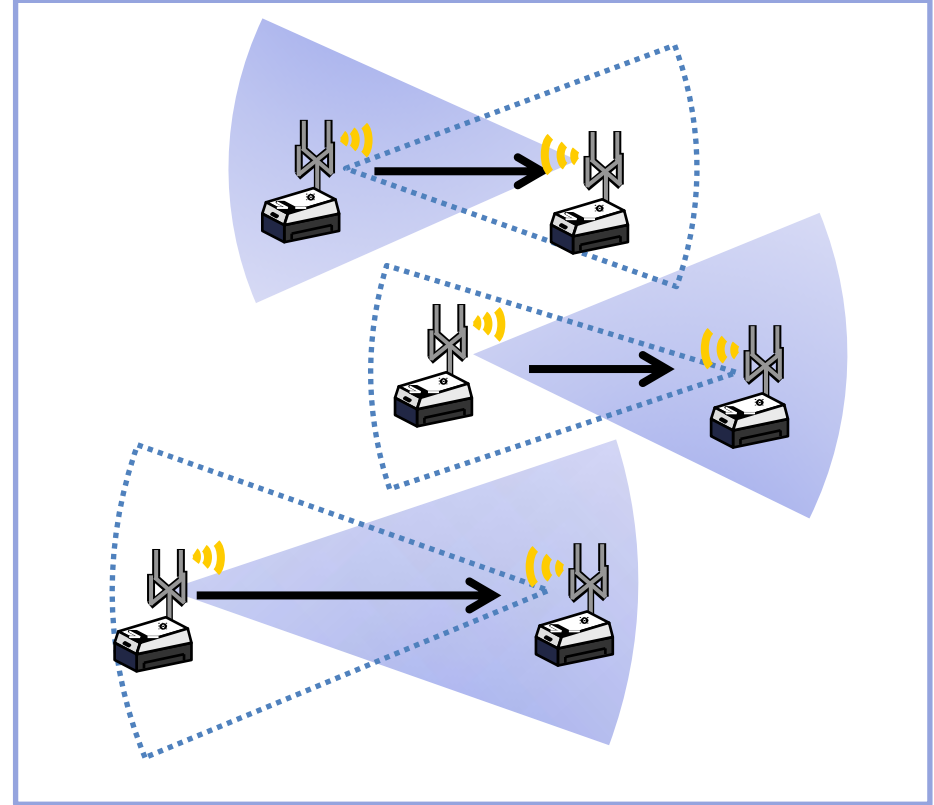
# 可変指向性アンテナによる同時通信

特定の方に電波を放射するアンテナ

## 全方位性アンテナ



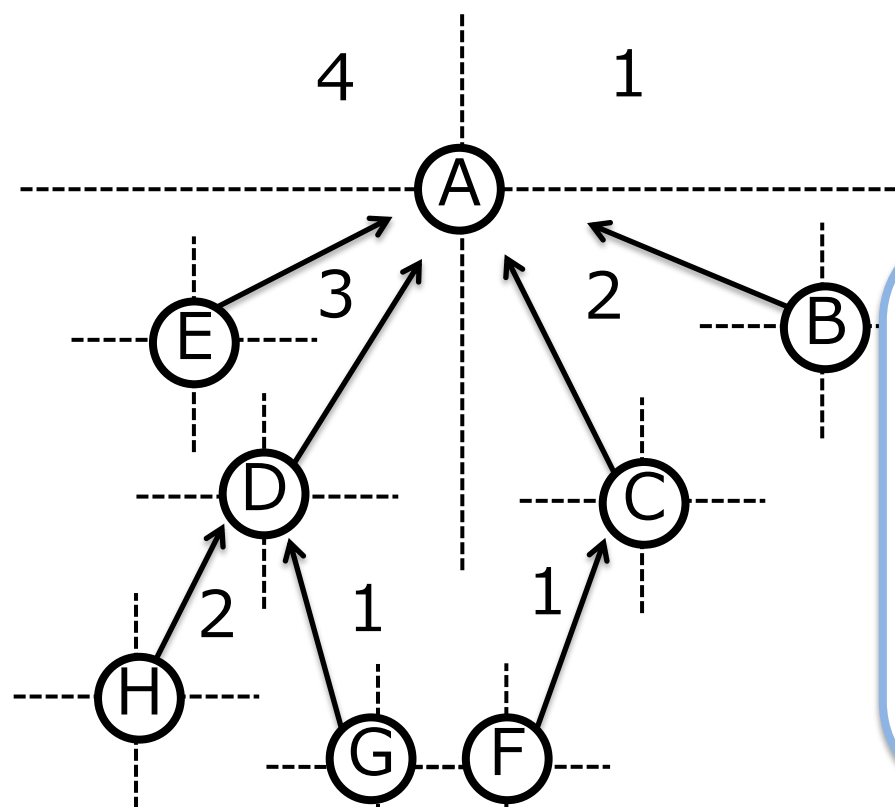
## 可変指向性アンテナ



空間利用効率が向上し、**高スループット**を実現

# 先行研究：SAMAC(Sectored Antenna MAC)

各空間(セクタ)にタイムスロットを割り当て  
(別空間と競合がないように)

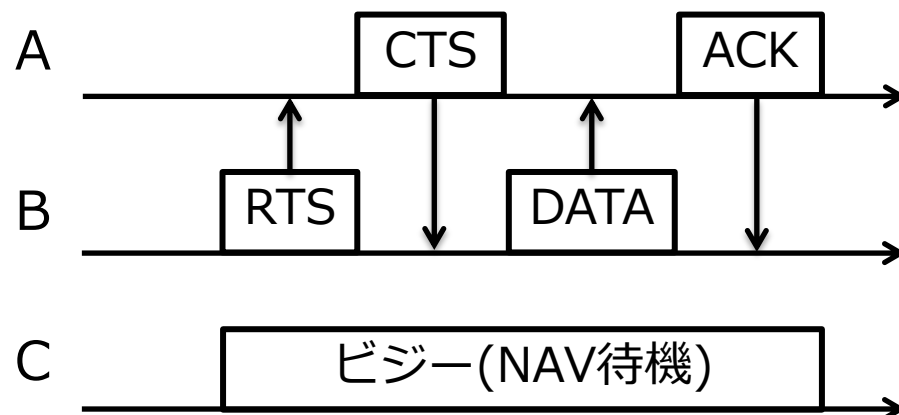


同時通信

タイムスロット構成



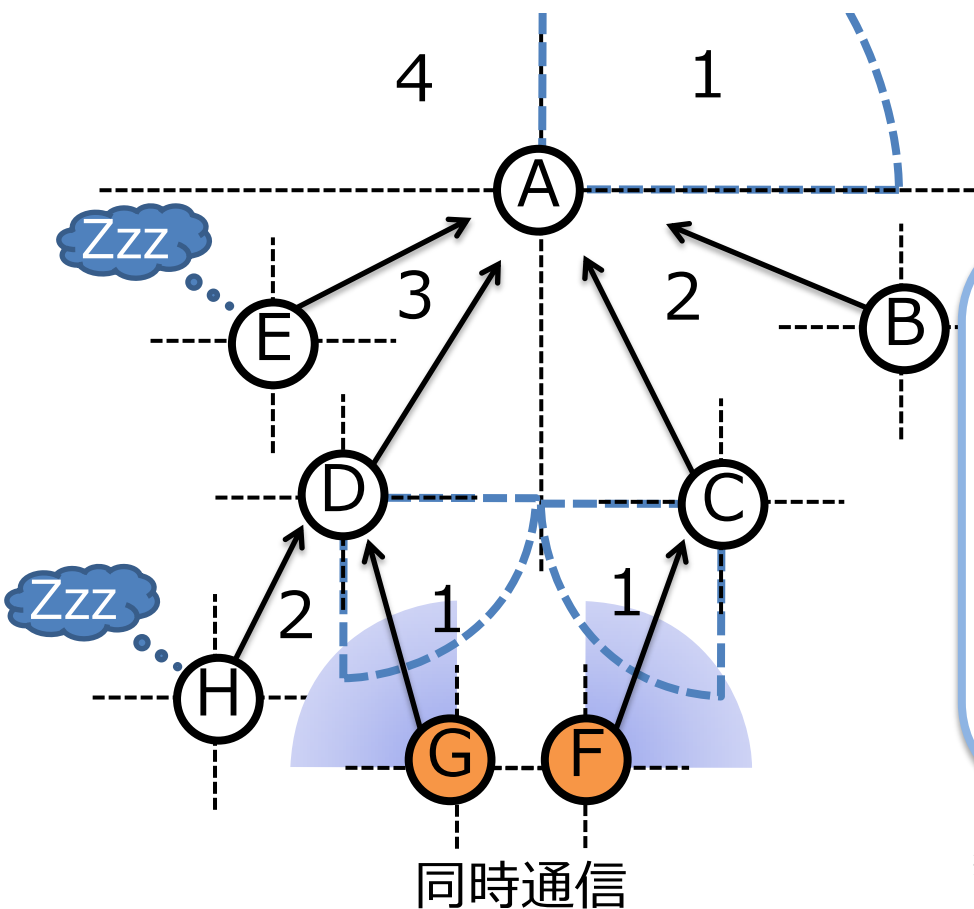
CSMA/CA with RTS/CTS※による衝突回避



※Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance with Request to Send / Clear to Send

# 先行研究：SAMAC(Sectored Antenna MAC)

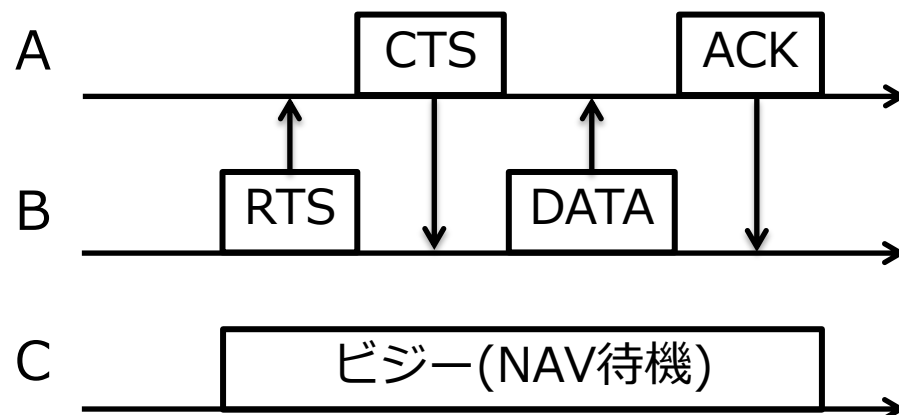
各空間(セクタ)にタイムスロットを割り当て  
(別空間と競合がないように)



タイムスロット構成



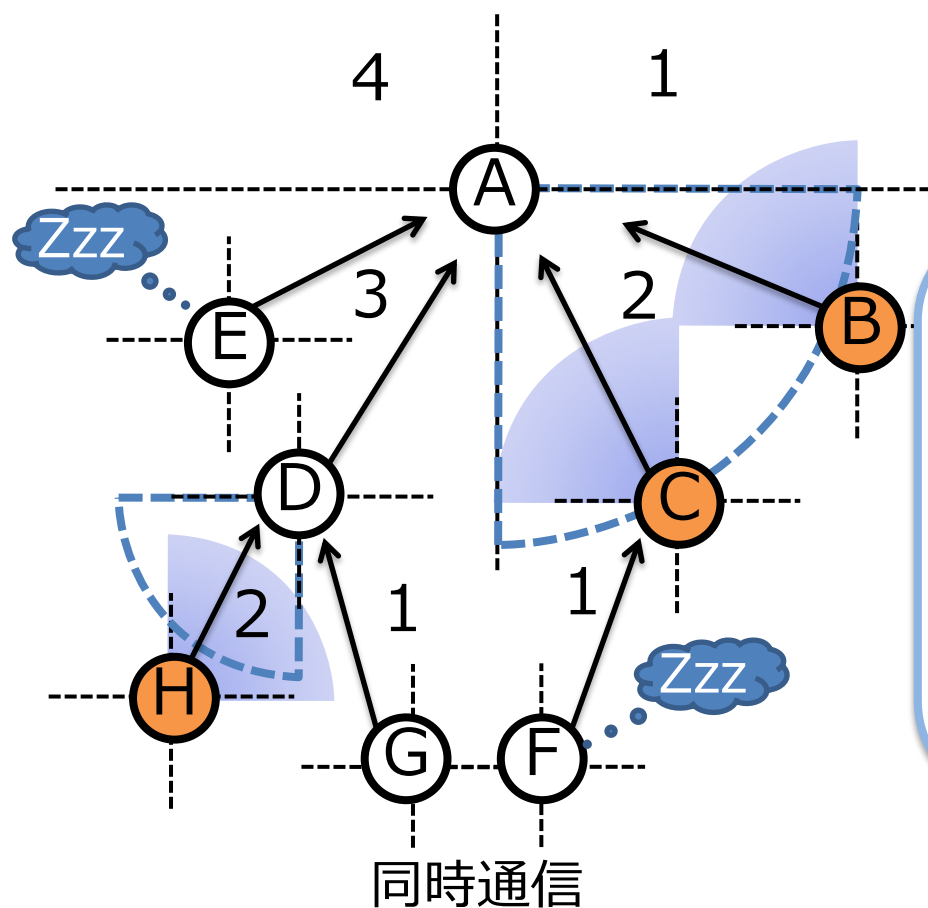
CSMA/CA with RTS/CTS※による衝突回避



※Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance with Request to Send / Clear to Send

# 先行研究：SAMAC(Sectored Antenna MAC)

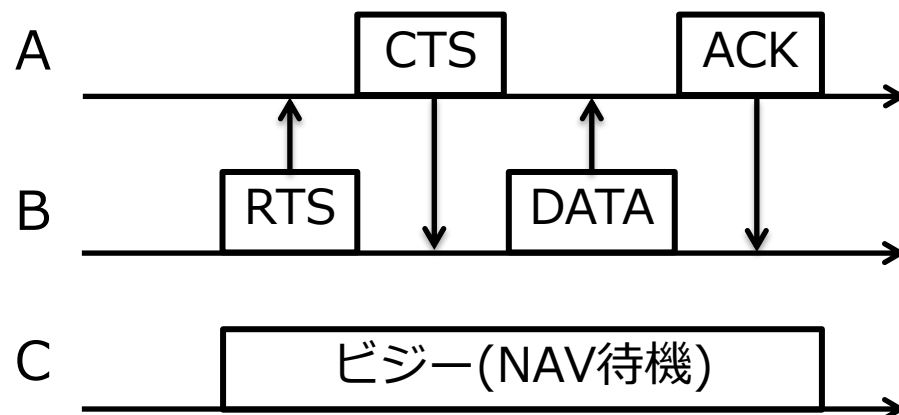
各空間(セクタ)にタイムスロットを割り当て  
(別空間と競合がないように)



タイムスロット構成



CSMA/CA with RTS/CTS※による衝突回避



※Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance with Request to Send / Clear to Send

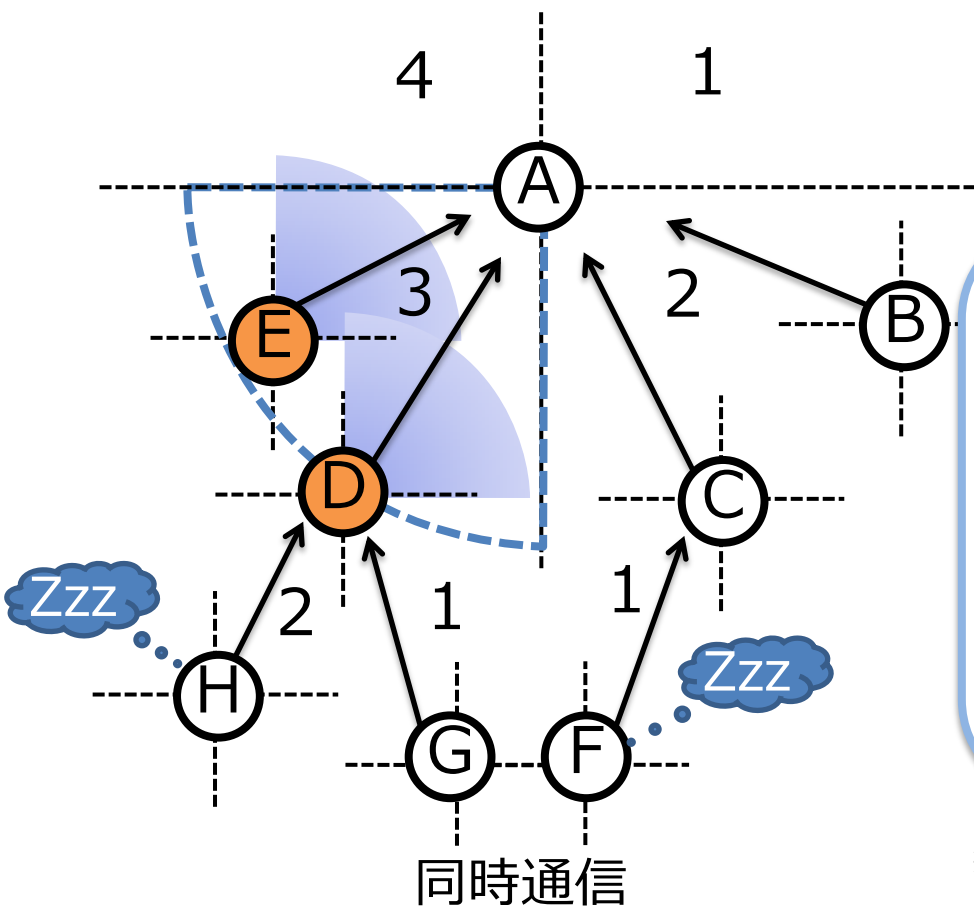
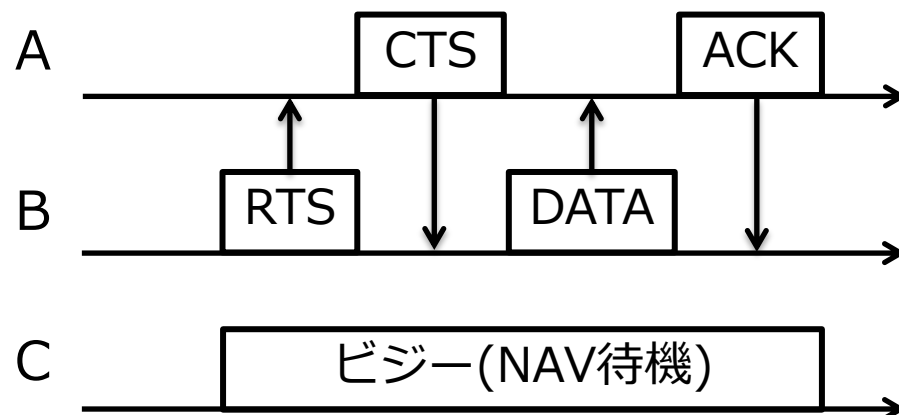
# 先行研究：SAMAC(Sectored Antenna MAC)

各空間(セクタ)にタイムスロットを割り当て  
(別空間と競合がないように)

タイムスロット構成



CSMA/CA with RTS/CTS※による衝突回避

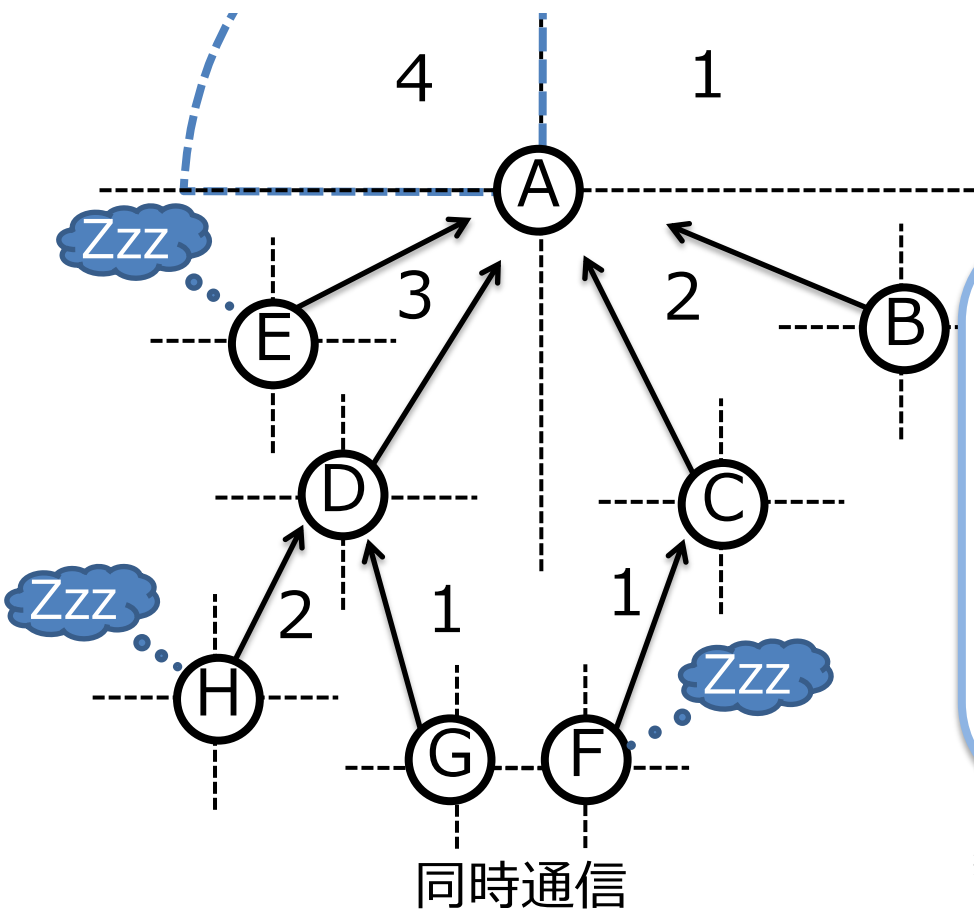


※Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance with Request to Send / Clear to Send



# 先行研究：SAMAC(Sectored Antenna MAC)

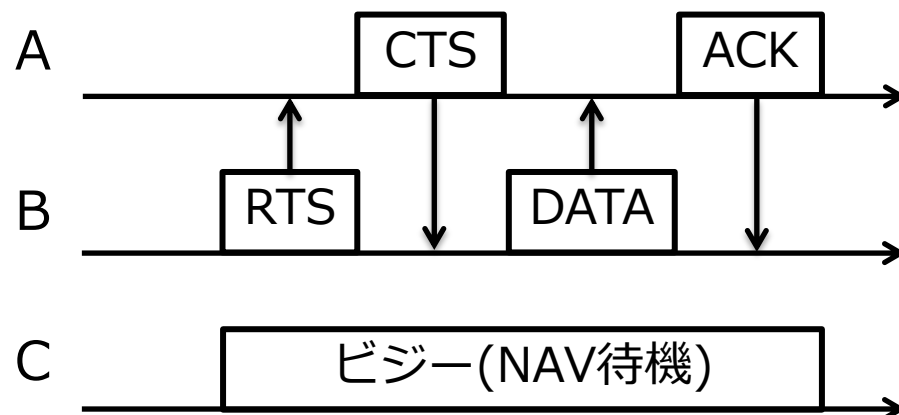
各空間(セクタ)にタイムスロットを割り当て  
(別空間と競合がないように)



タイムスロット構成

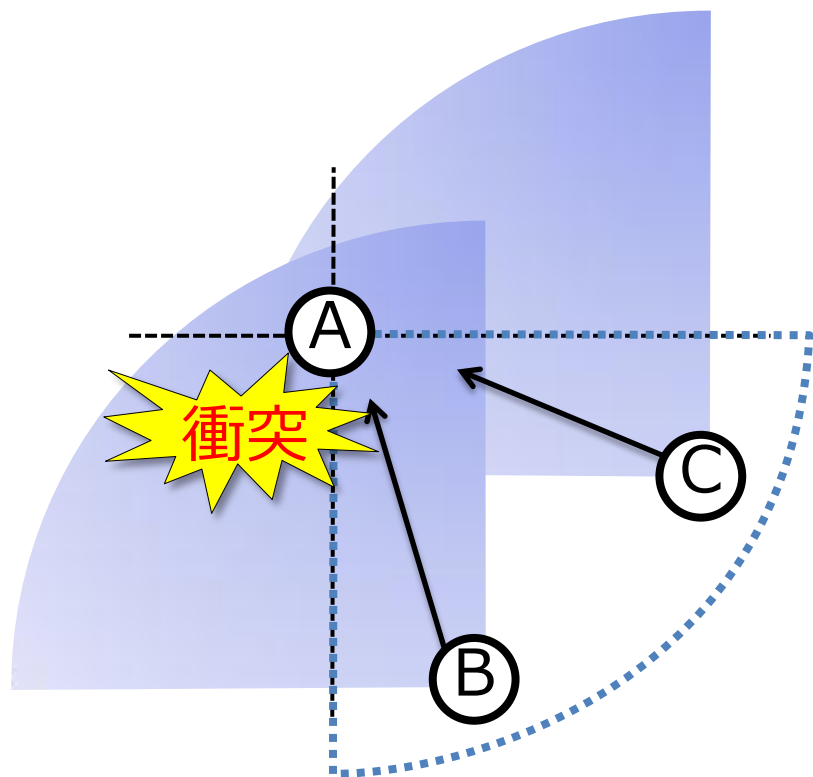


CSMA/CA with RTS/CTS※による衝突回避

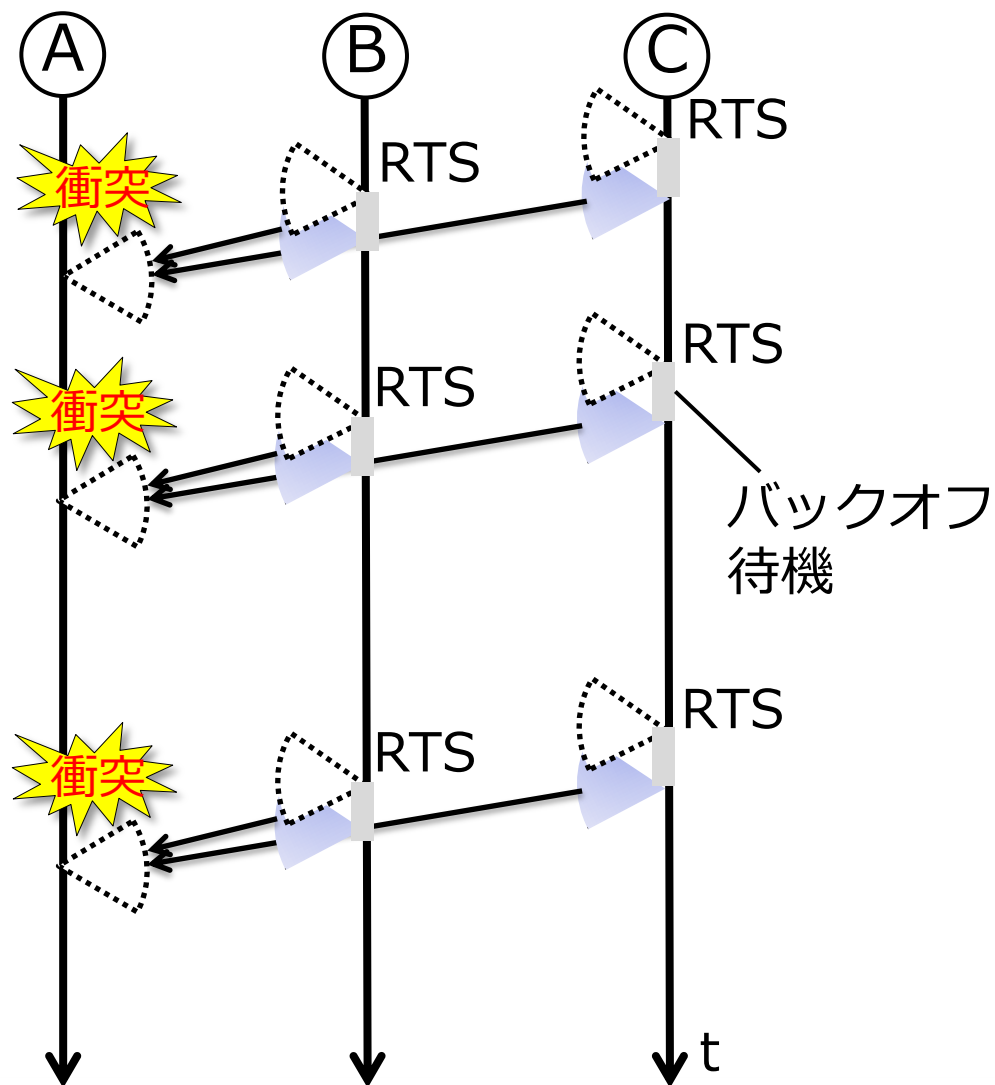


※Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance with Request to Send / Clear to Send

# SAMACの問題点



隠れ端末により  
RTSの再送が増加  
⇒消費電力の増加,  
スループットの低下



# 同一セクタ内の衝突回避方式

高スループットかつ低消費電力を目指した  
MACプロトコルの設計



同一セクタ内のノードのRTSを聞き取れず、衝突が  
発生し消費電力が増加、スループットが低下



## 自律制御方式(ACSAMAC)

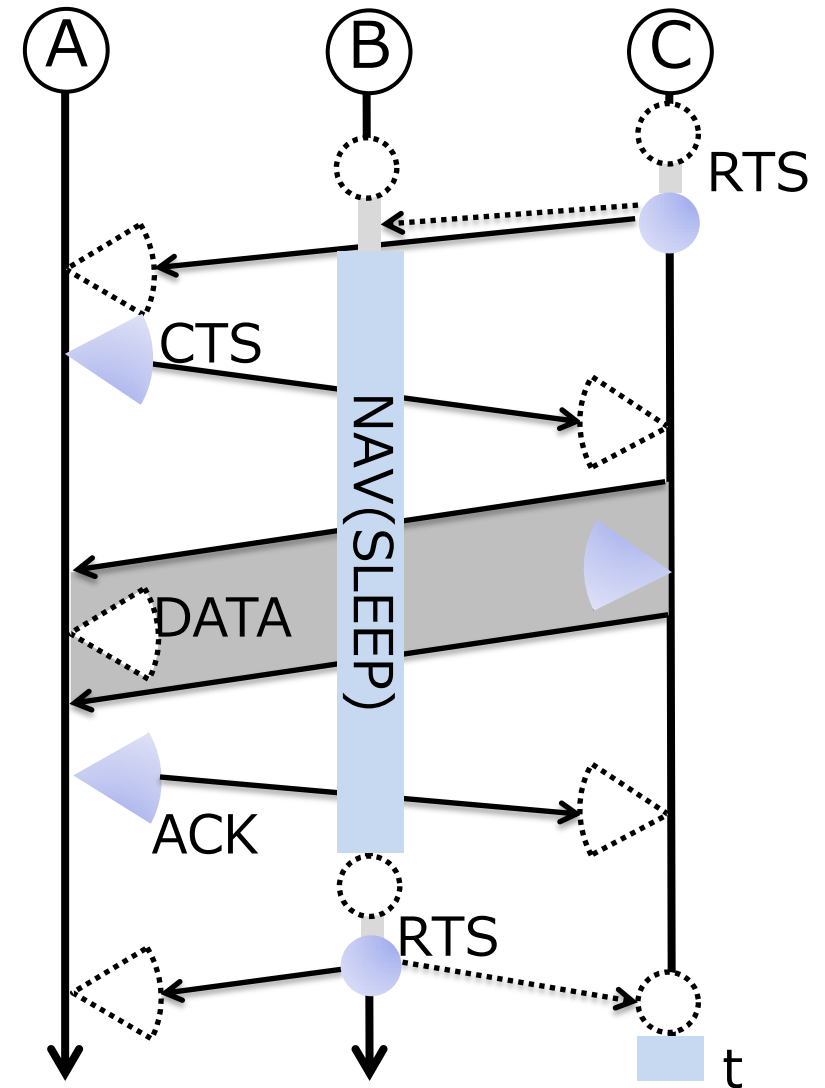
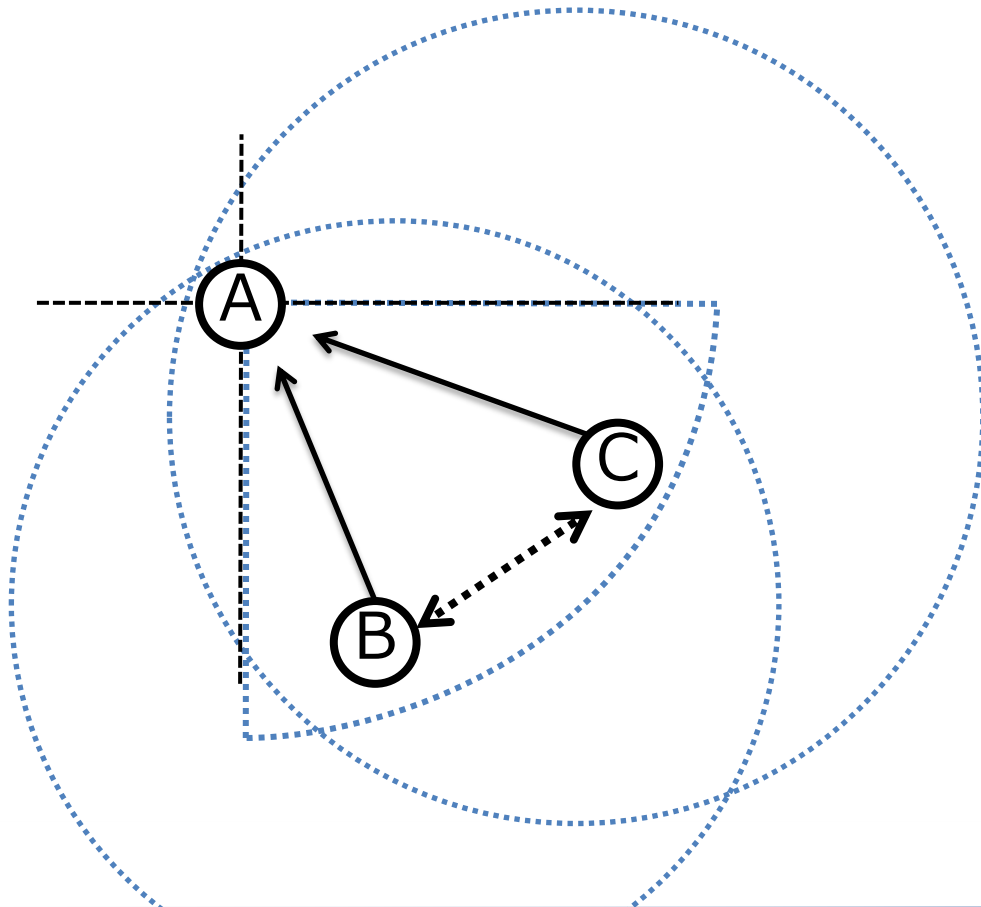
各ノードが通信状況を判断し  
通信を抑制

## 他律制御方式(HCSAMAC)

親ノードが各子ノードの  
通信タイミングを制御

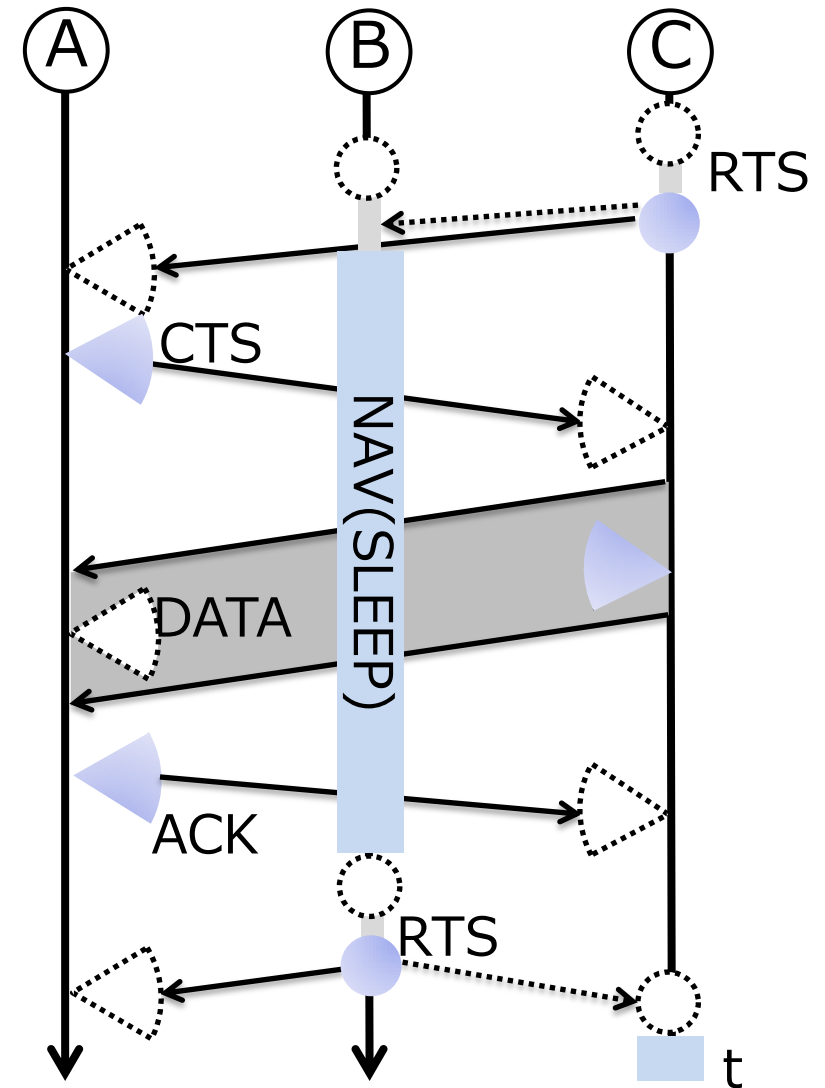
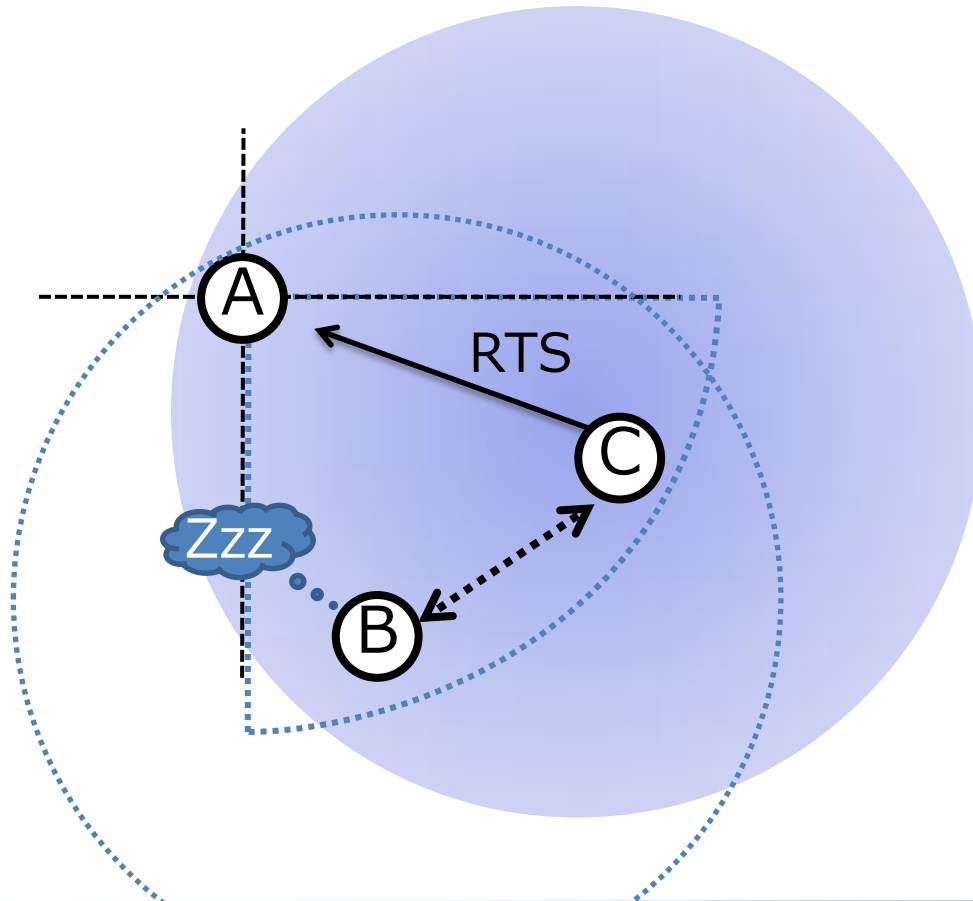
# 自律制御方式(ACSAMAC : Autonomous Control SAMAC)

各子ノードで通信状況を判断, 制御  
⇒全方位性ビームを利用し  
近隣ノードの通信を傍受



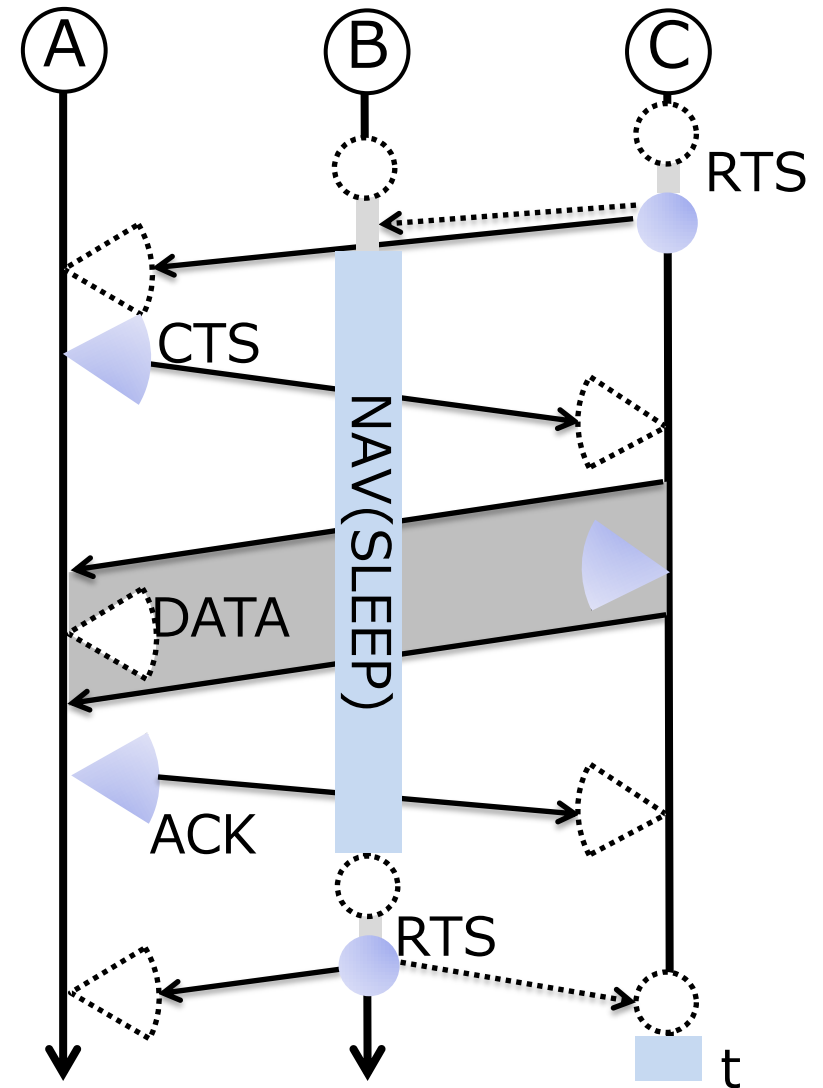
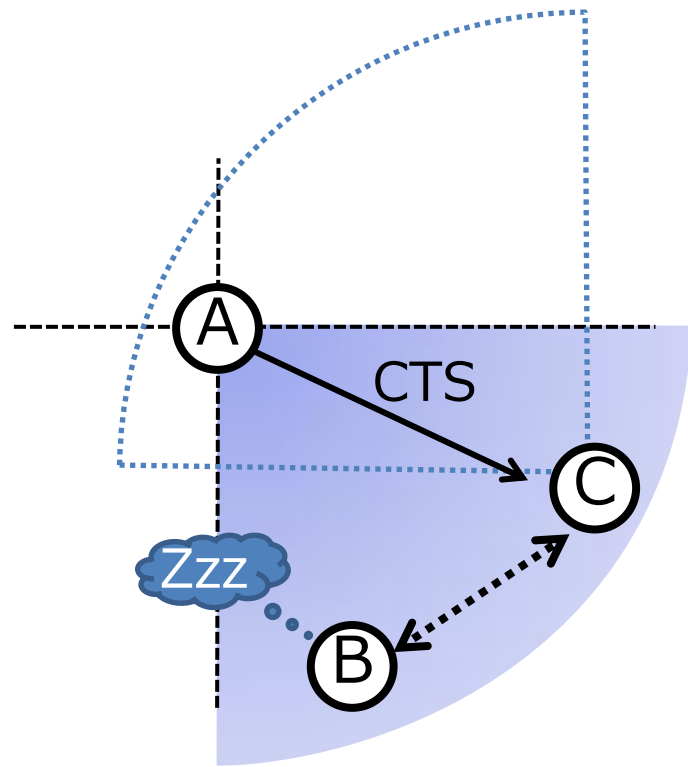
# 自律制御方式(ACSAMAC : Autonomous Control SAMAC)

各子ノードで通信状況を判断, 制御  
⇒全方位性ビームを利用し  
近隣ノードの通信を傍受



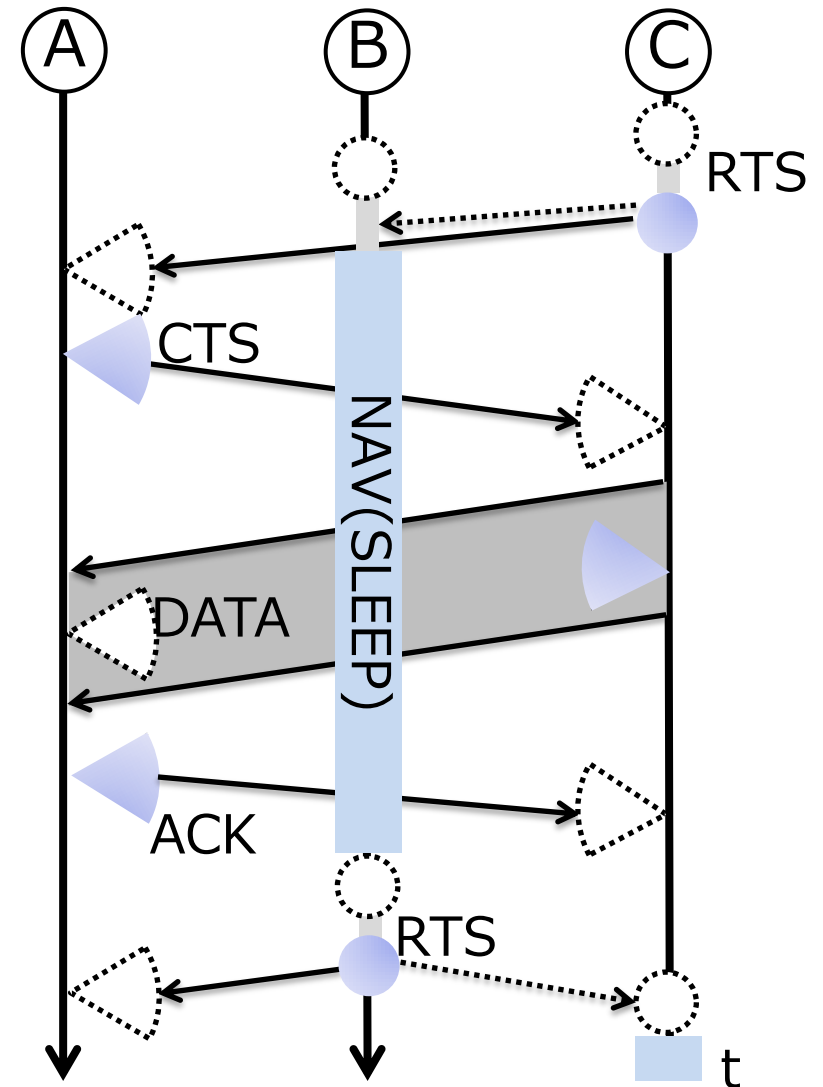
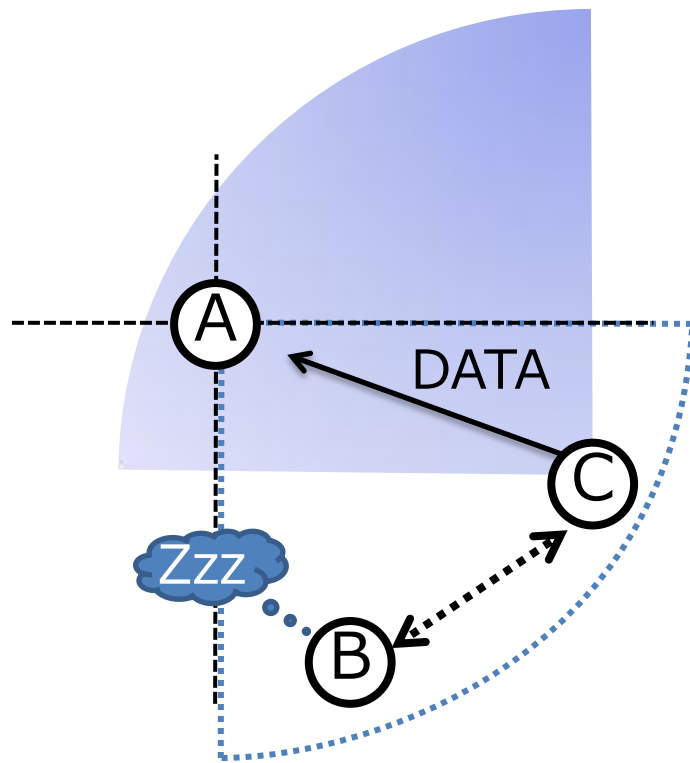
## 自律制御方式(ACSAMAC : Autonomous Control SAMAC)

各子ノードで通信状況を判断, 制御  
⇒全方位性ビームを利用し  
近隣ノードの通信を傍受



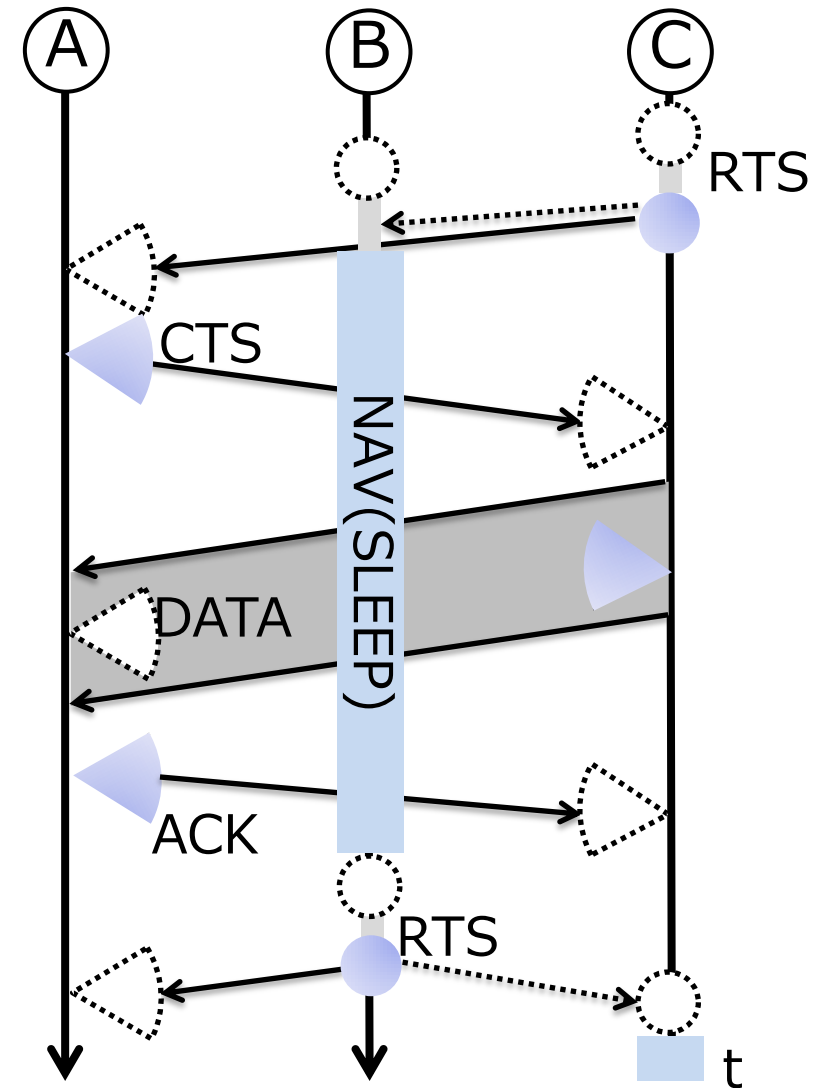
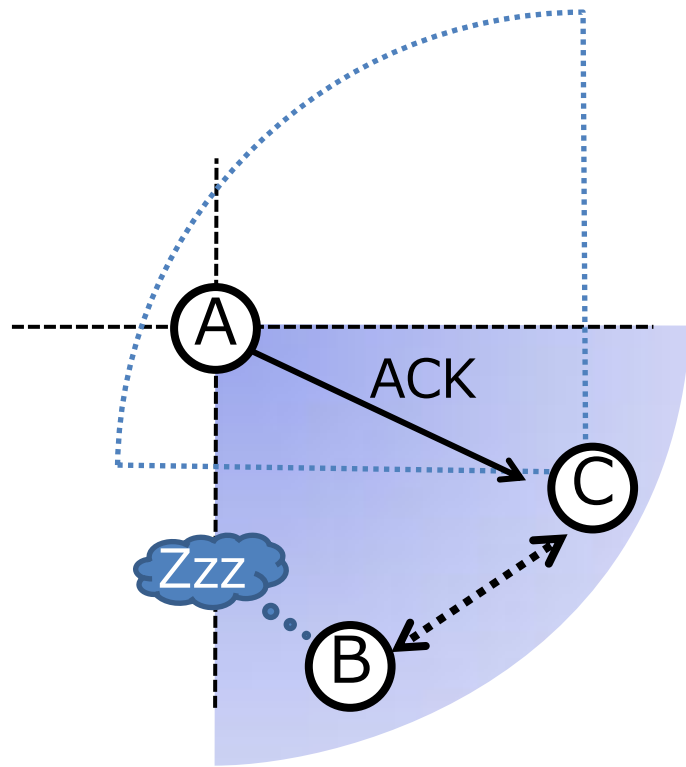
# 自律制御方式(ACSAMAC : Autonomous Control SAMAC)

各子ノードで通信状況を判断, 制御  
⇒全方位性ビームを利用し  
近隣ノードの通信を傍受



# 自律制御方式(ACSAMAC : Autonomous Control SAMAC)

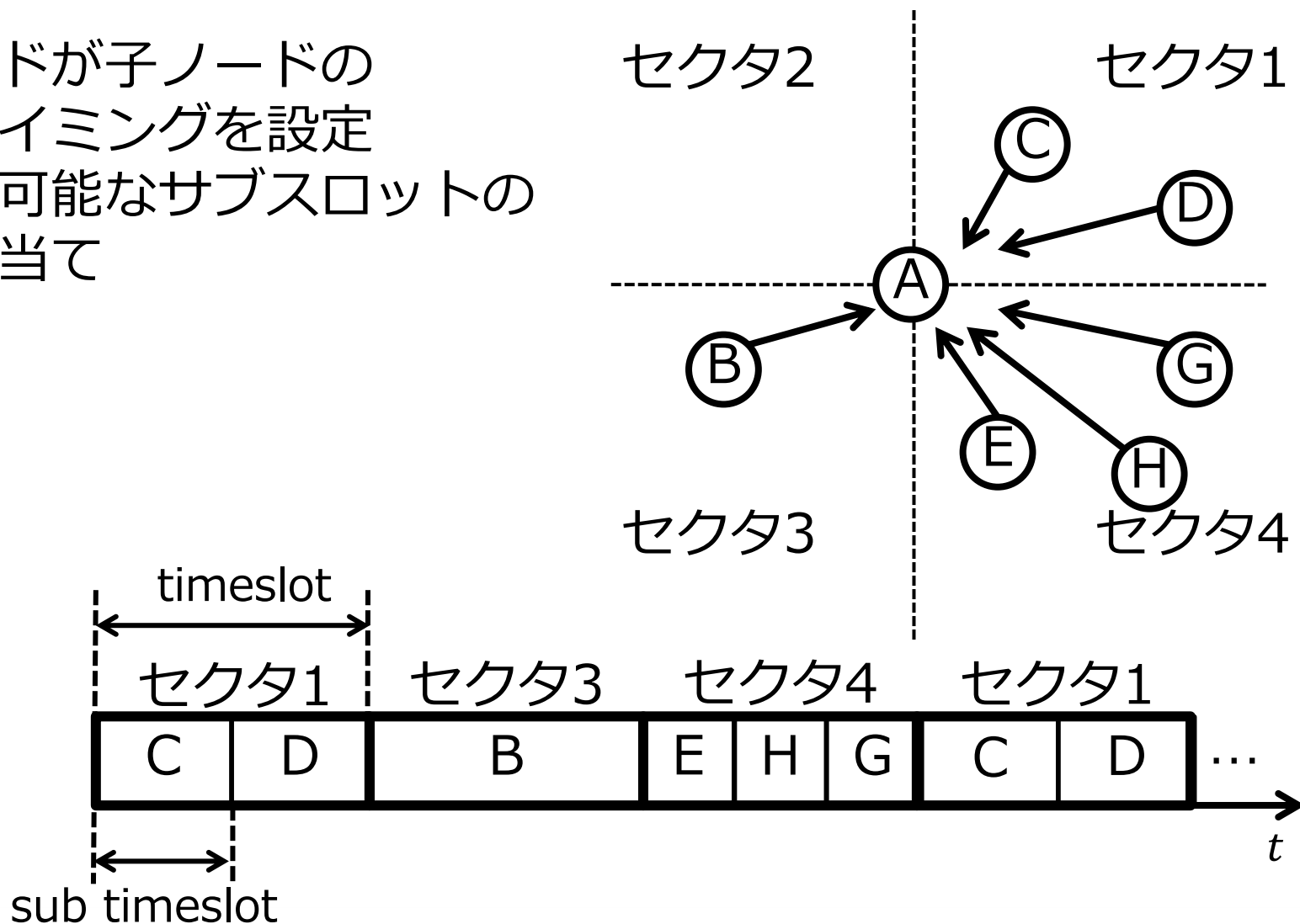
各子ノードで通信状況を判断, 制御  
⇒全方位性ビームを利用し  
近隣ノードの通信を傍受





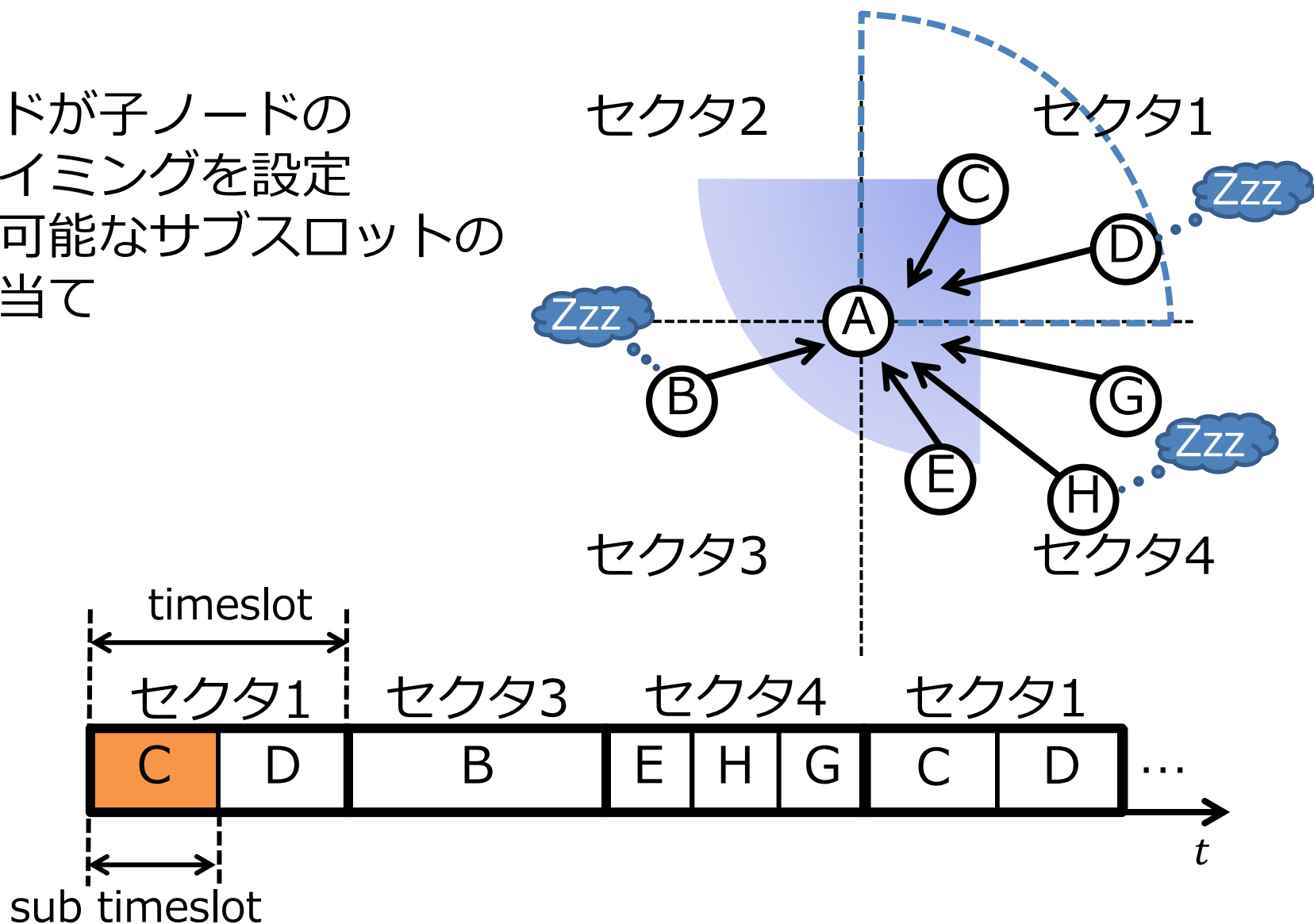
# 他律制御方式(HCSAMAC : Heteronomous Control SAMAC)

親ノードが子ノードの  
通信タイミングを設定  
⇒占有可能なサブスロットの  
割り当て



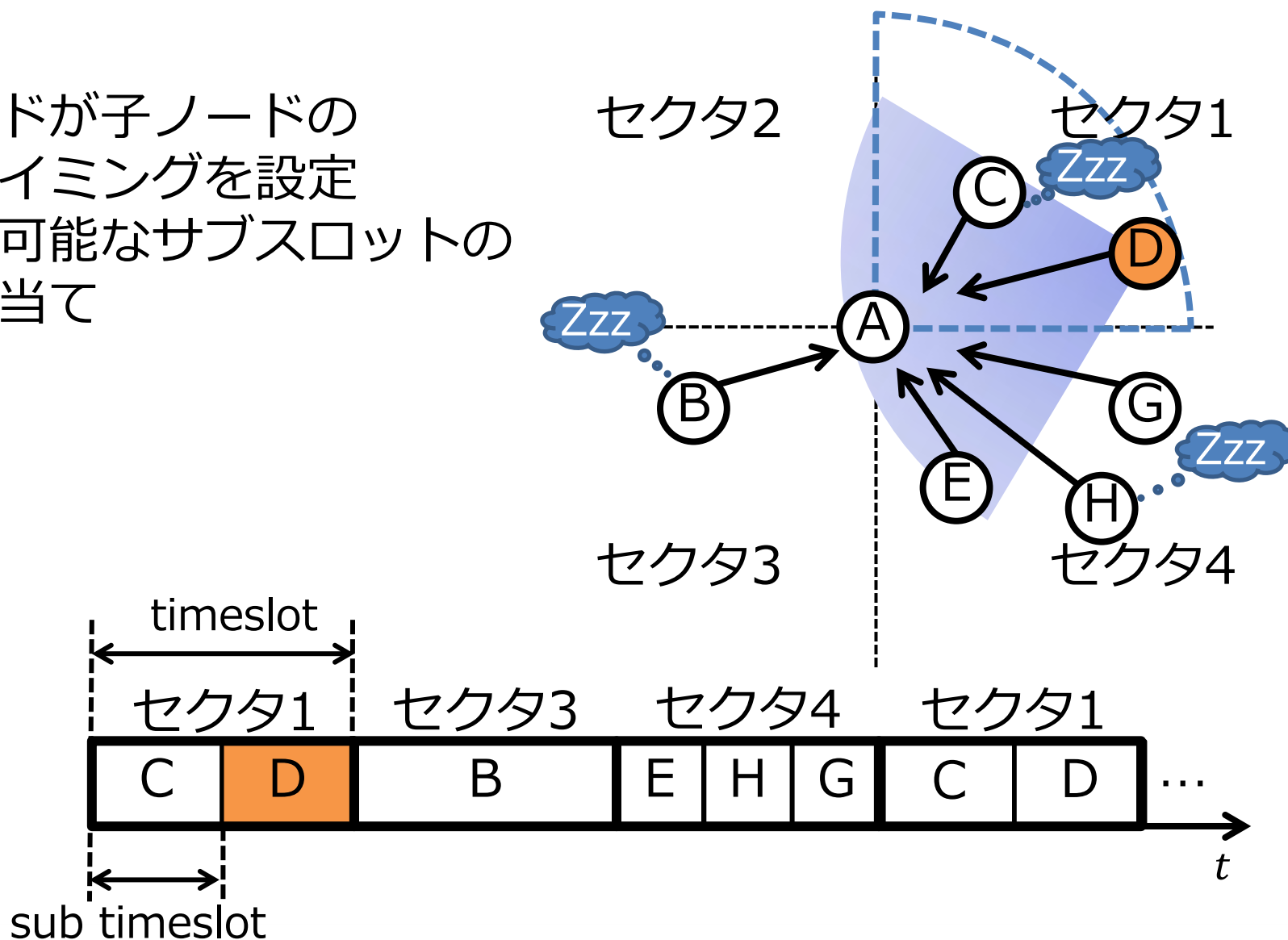
# 他律制御方式(HCSAMAC : Heteronomous Control SAMAC)

親ノードが子ノードの  
通信タイミングを設定  
⇒占有可能なサブスロットの  
割り当て



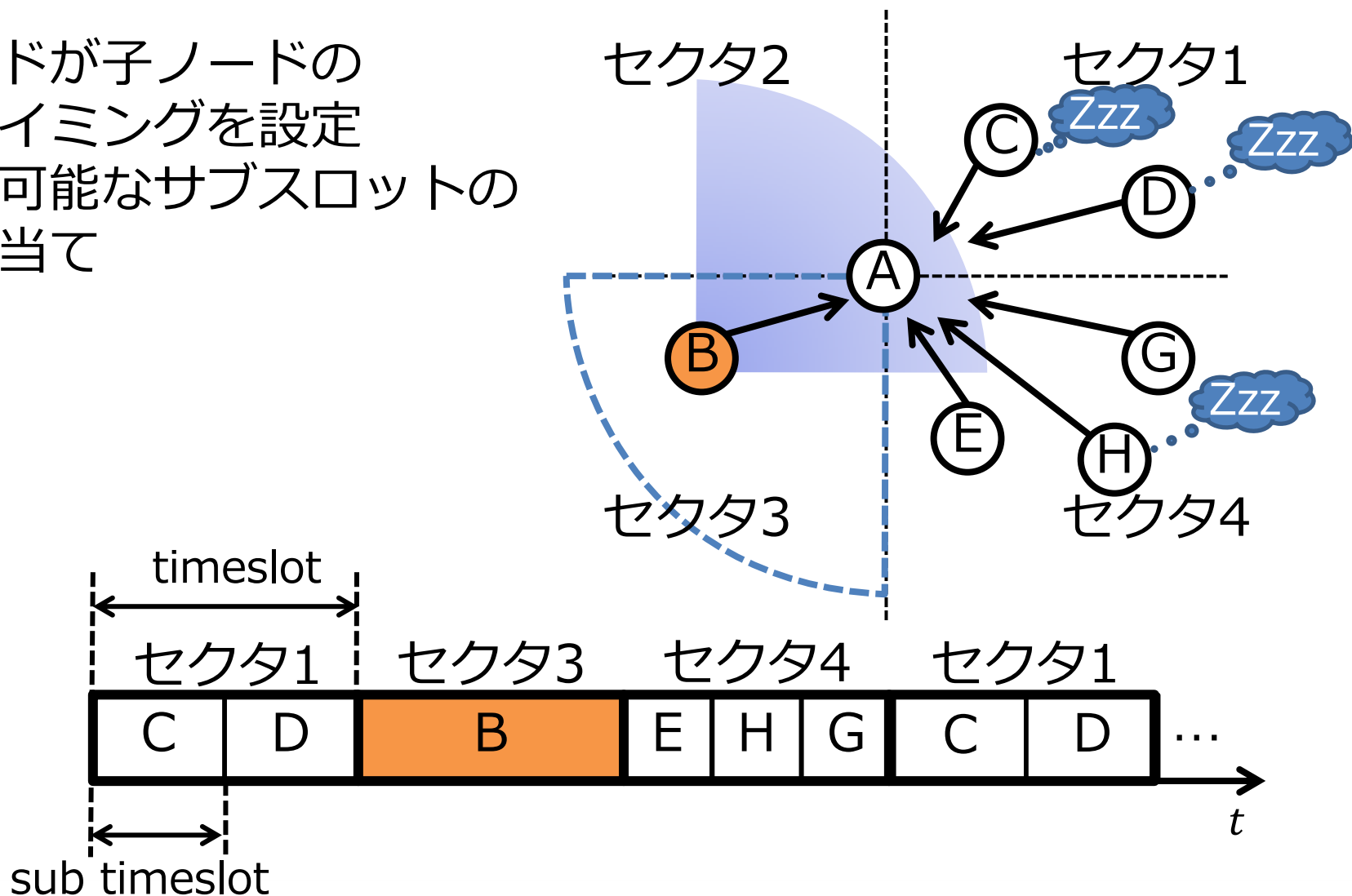
# 他律制御方式(HCSAMAC : Heteronomous Control SAMAC)

親ノードが子ノードの  
通信タイミングを設定  
⇒占有可能なサブスロットの  
割り当て



# 他律制御方式(HCSAMAC : Heteronomous Control SAMAC)

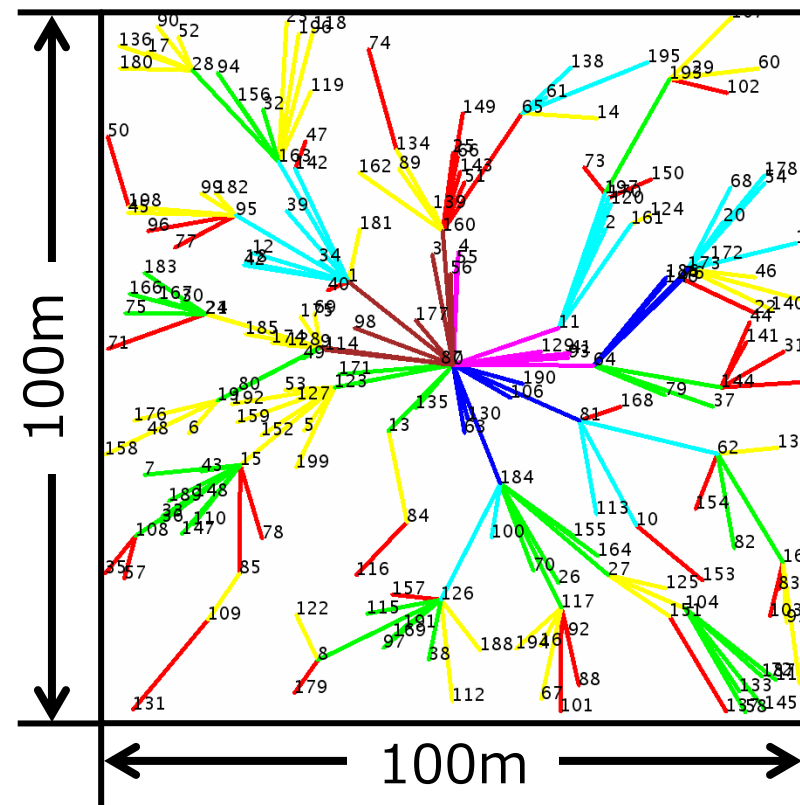
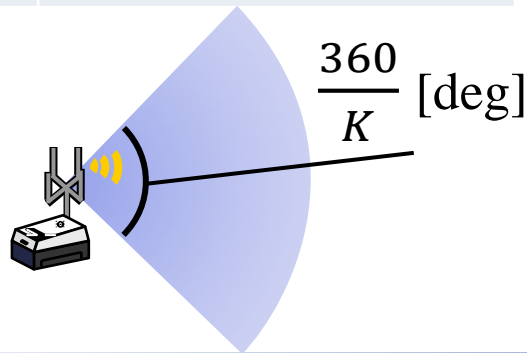
親ノードが子ノードの  
通信タイミングを設定  
⇒占有可能なサブスロットの  
割り当て



# シミュレーション諸元

パラメータ	値
ノード数	200
シミュレーション時間	500s
タイムスロット長	200ms
データ長	5.44ms
通信距離	20m
受信時消費電力	46.5mW
送信時消費電力	49.5mW
スリープ時消費電力	0.06mW

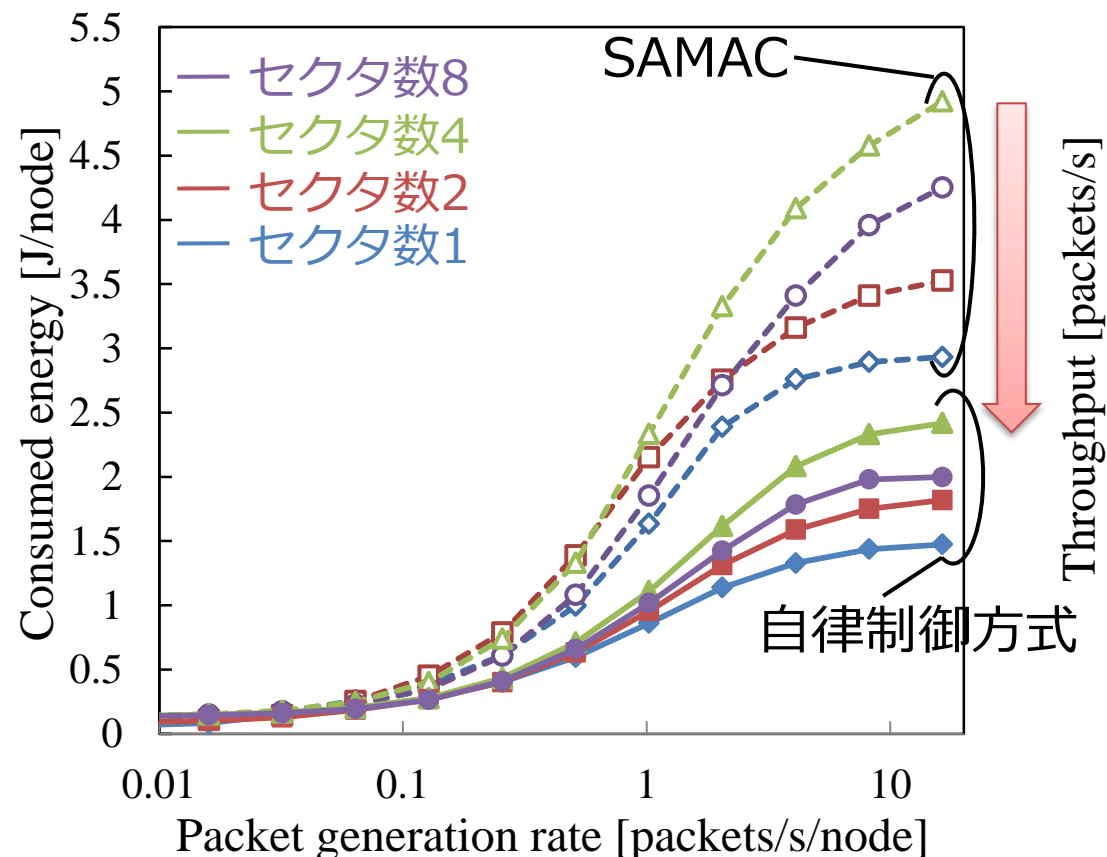
使用アンテナ：  
理想的な指向性アンテナを  
想定  
セクタ数： $K$



番号がノード配置，  
色がタイムスロットを表す

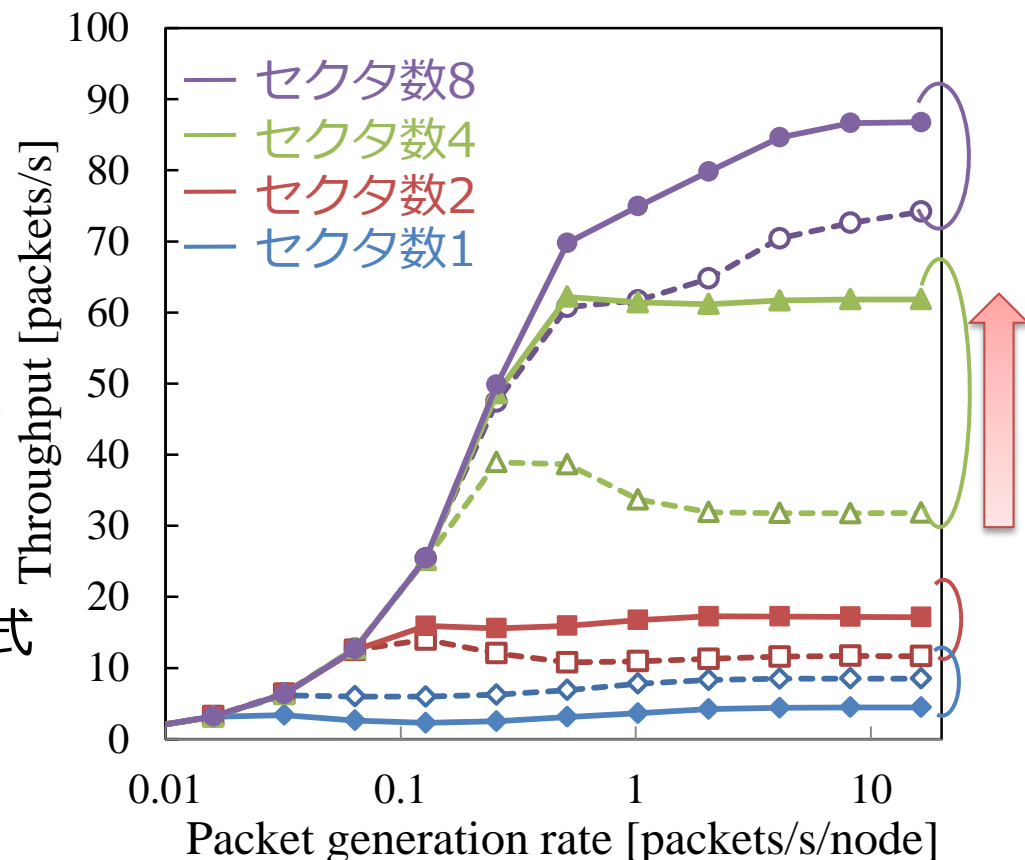
# 自律制御方式の特性評価

## 消費エネルギー



他ノードの通信時にスリープ  
⇒消費エネルギーの削減

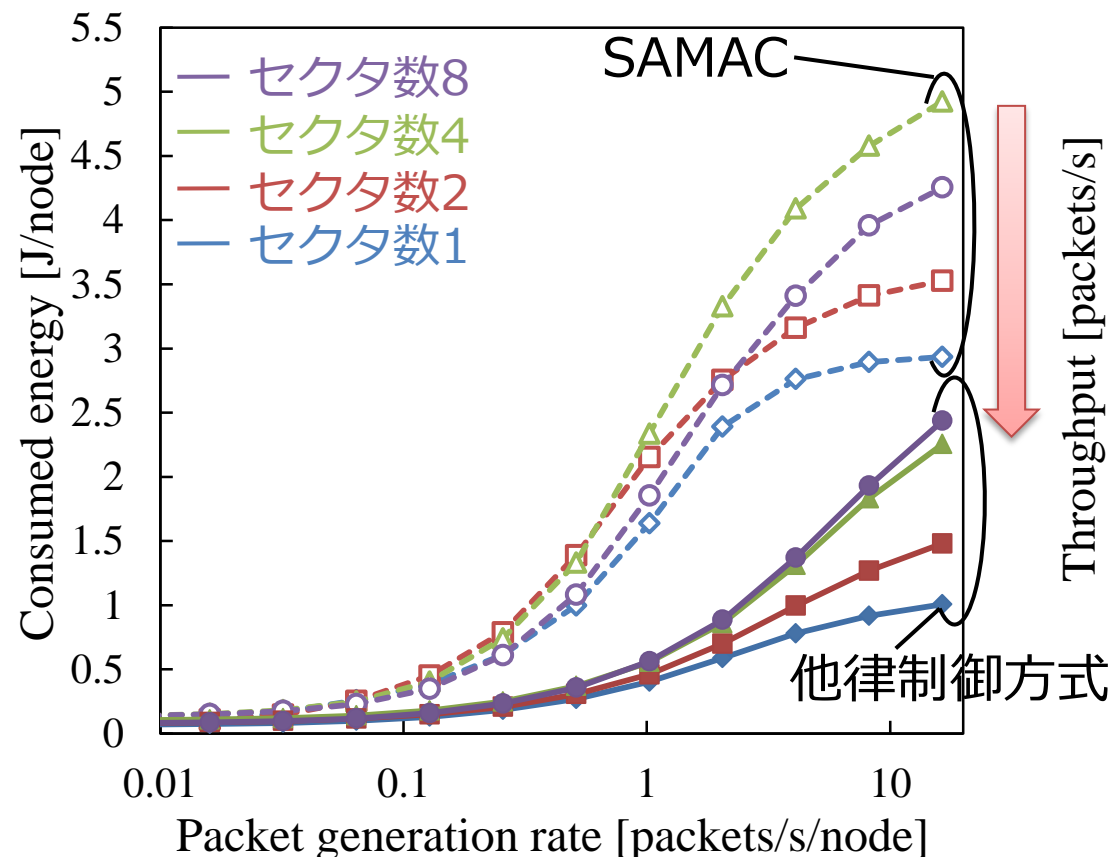
## スループット



RTSの再送回数を削減  
⇒スループットの向上

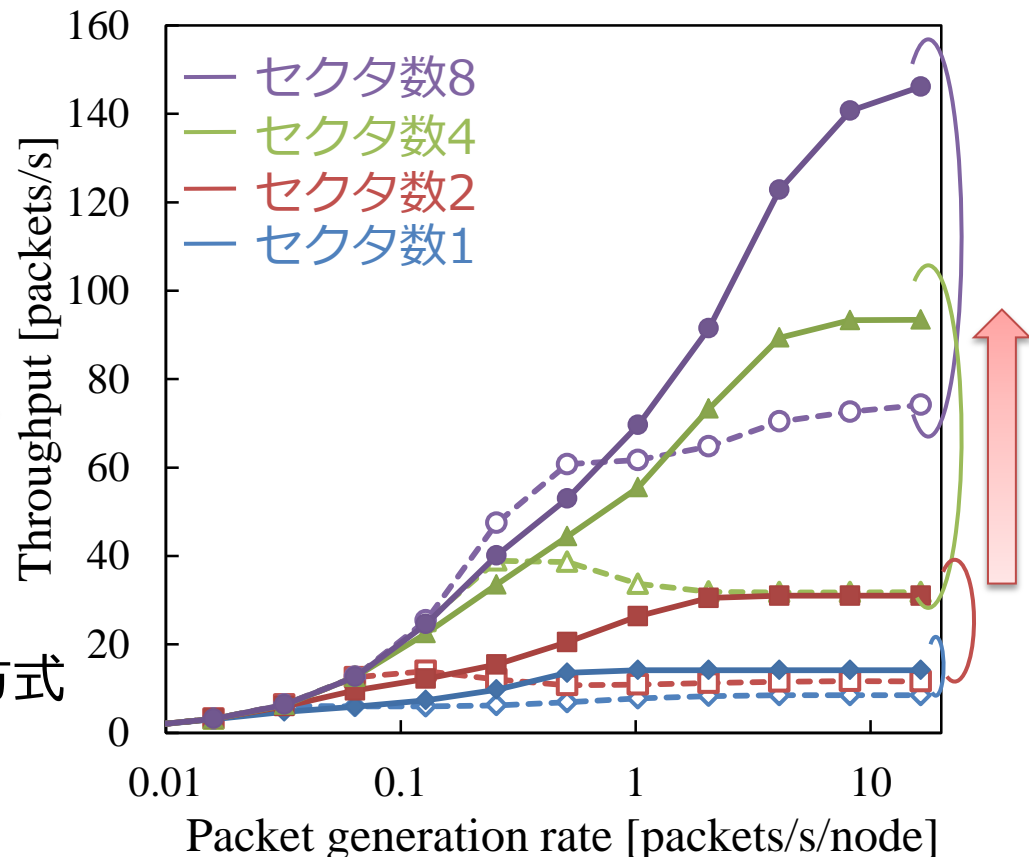
# 他律制御方式の特性評価

## 消費エネルギー



自分のスロット以外でスリープ  
⇒消費エネルギーの削減

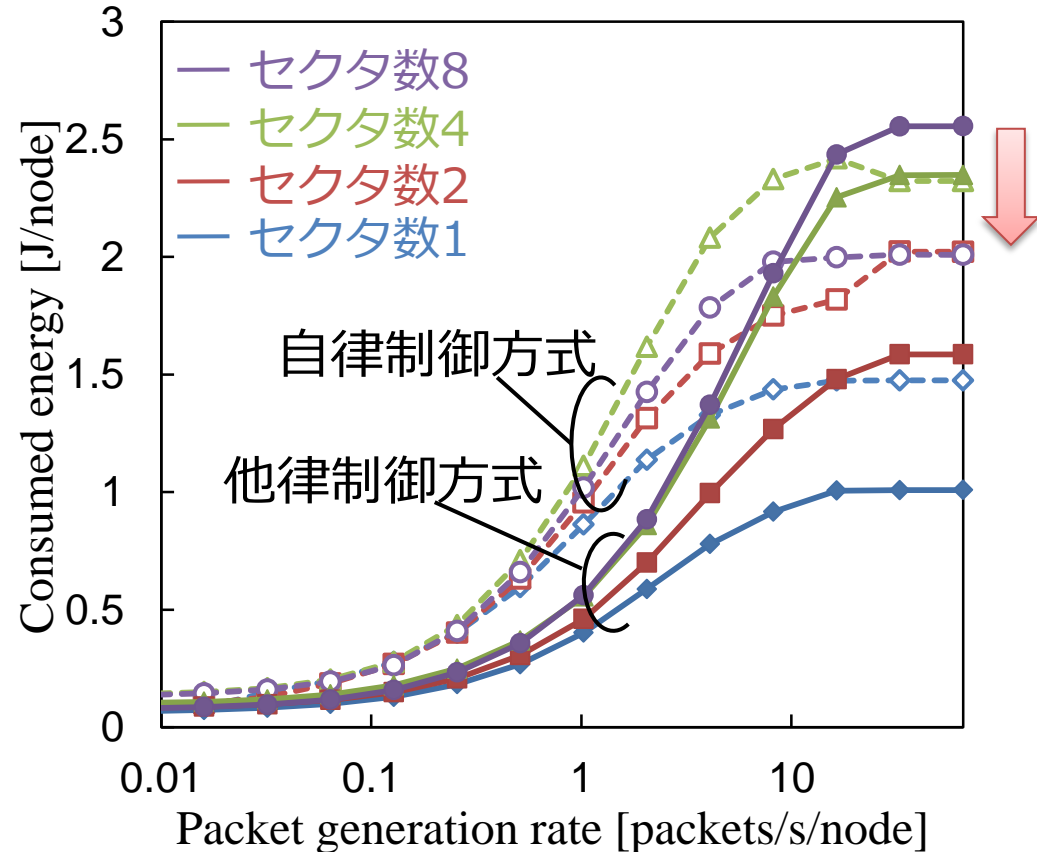
## スループット



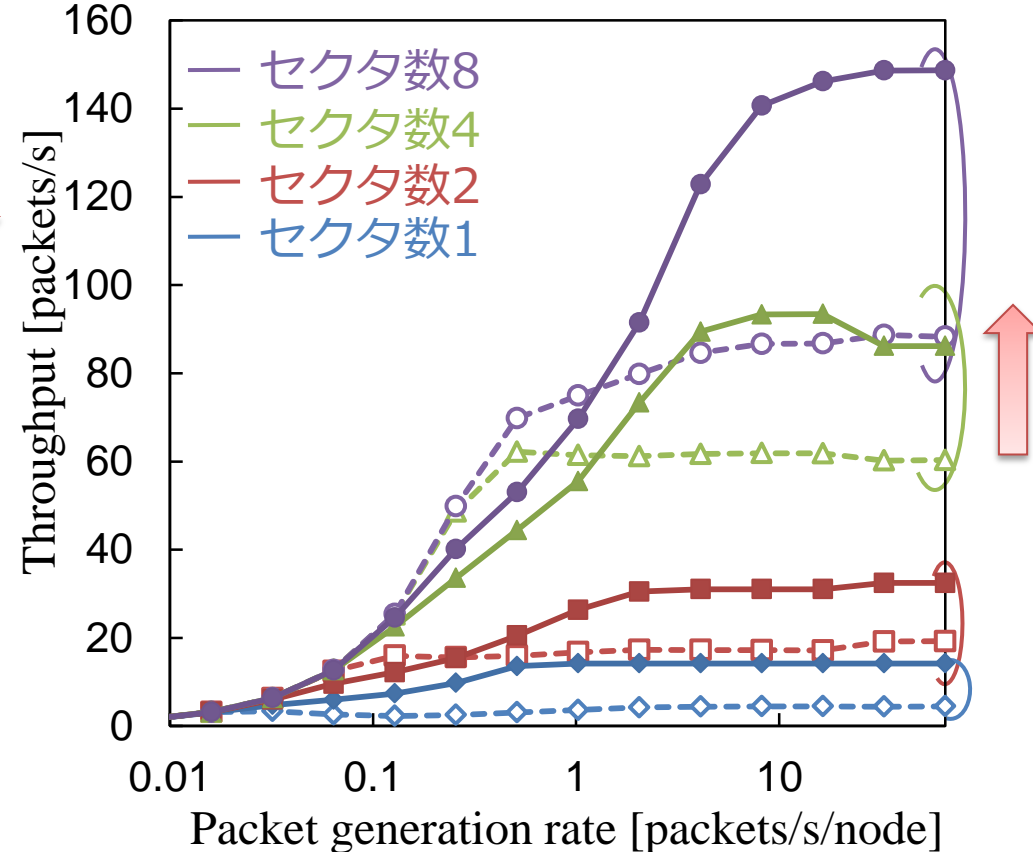
衝突のないタイミング制御  
⇒スループットの向上

# 自律制御方式と他律制御方式の比較

## 消費エネルギー



## スループット



他律制御方式は自律制御方式に比べて性能が高い



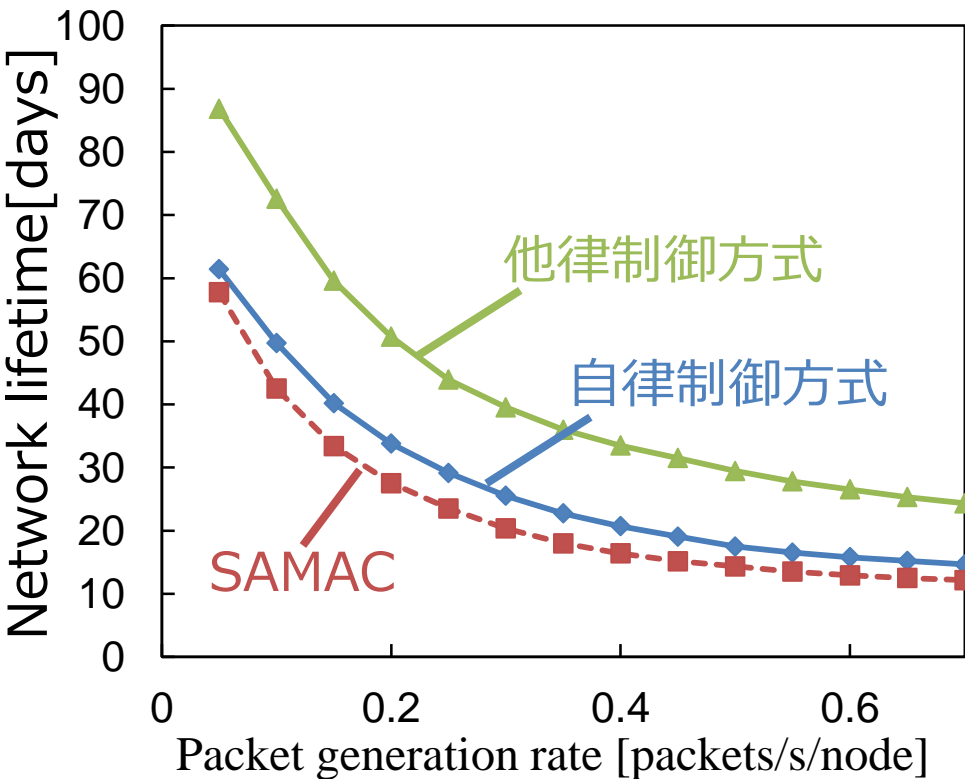
## 省電力化, 高スループット化を目指した MACプロトコルの設計

- 自律制御方式, 他律制御方式の両方式において  
**省電力化, 高スループット化**を実現
- セクタ数が多いほど**性能が高い**
- 他律制御方式は自律制御方式に比べて**省電力,  
高スループット**

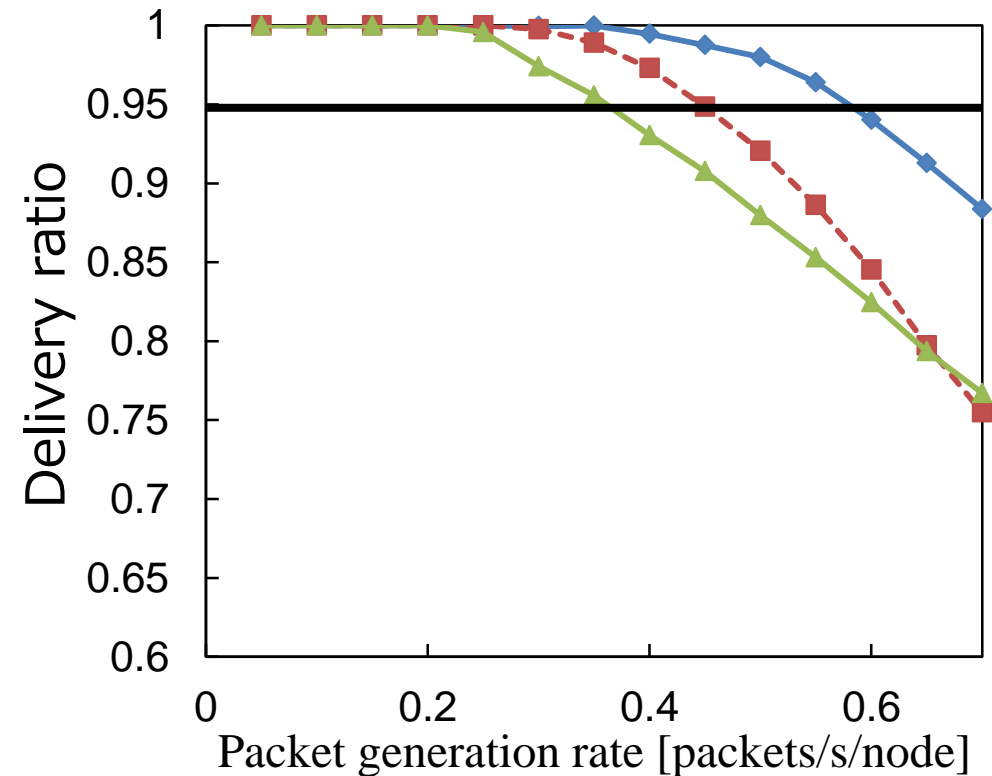
# ネットワークライフタイム, パケット到達率

セクタ数4, キューサイズ50, バッテリー容量1900mAh, ノード数100

ネットワークライフタイム



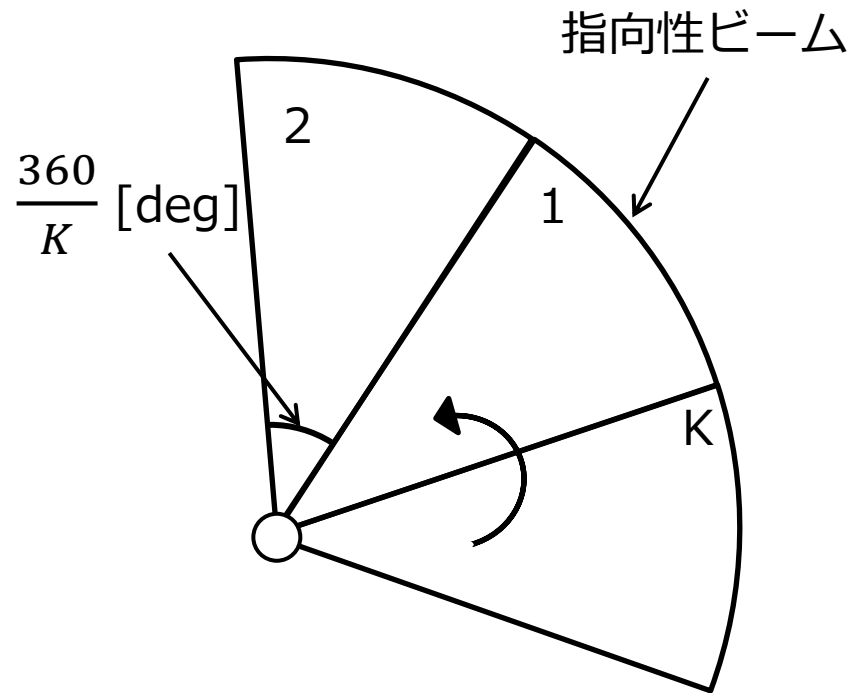
パケット到達率



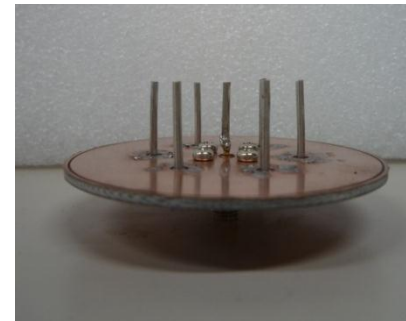
他律制御方式によりライフタイムの延長,  
自律制御方式により高頻度で通信が可能

# 想定する可変指向性アンテナ

スイッチドビームアンテナやエスパアンテナを想定



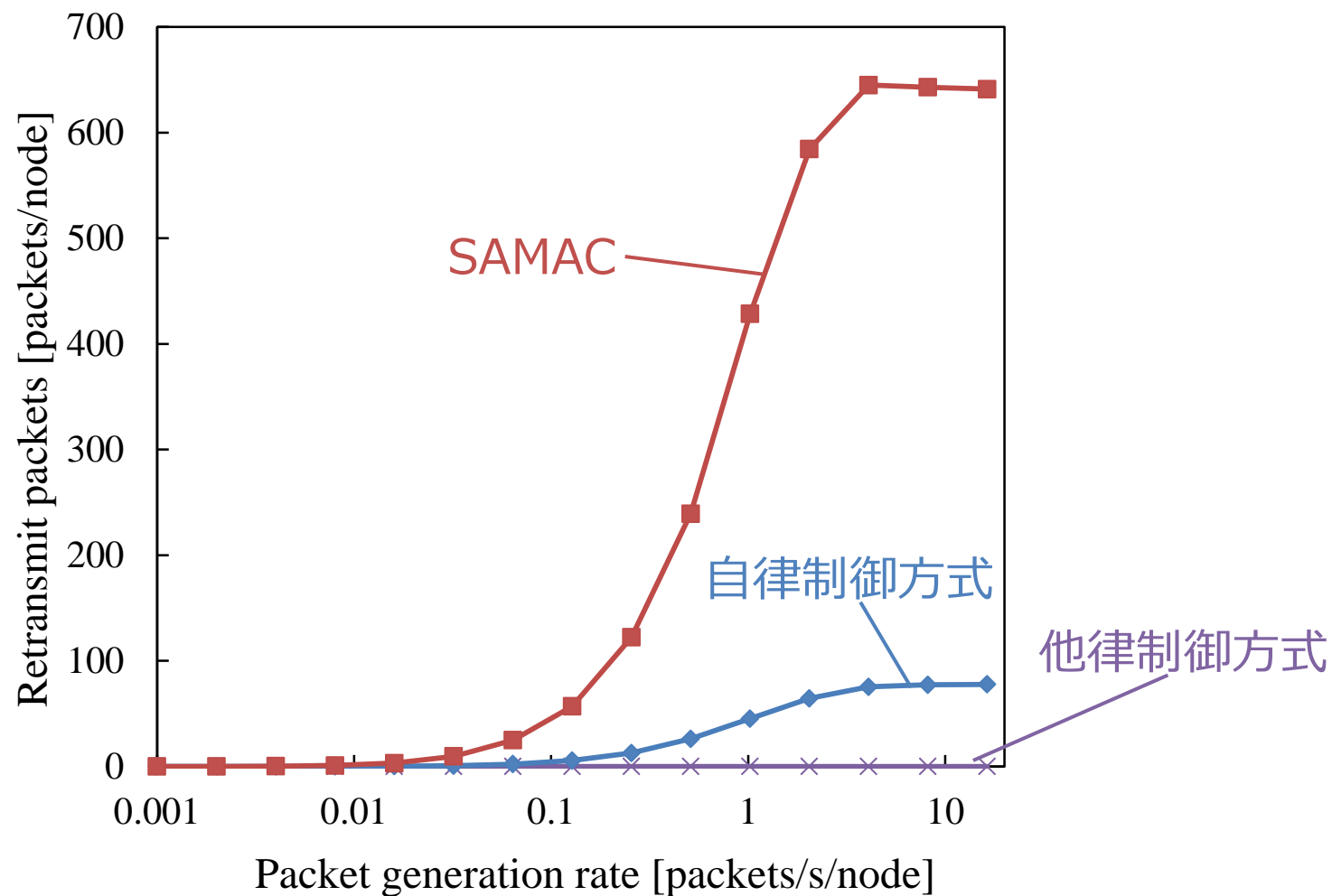
セクタ数 :  $K$



エスパアンテナ

※指向性ビームは電力制御により全方位性ビームと同じ通信距離を想定

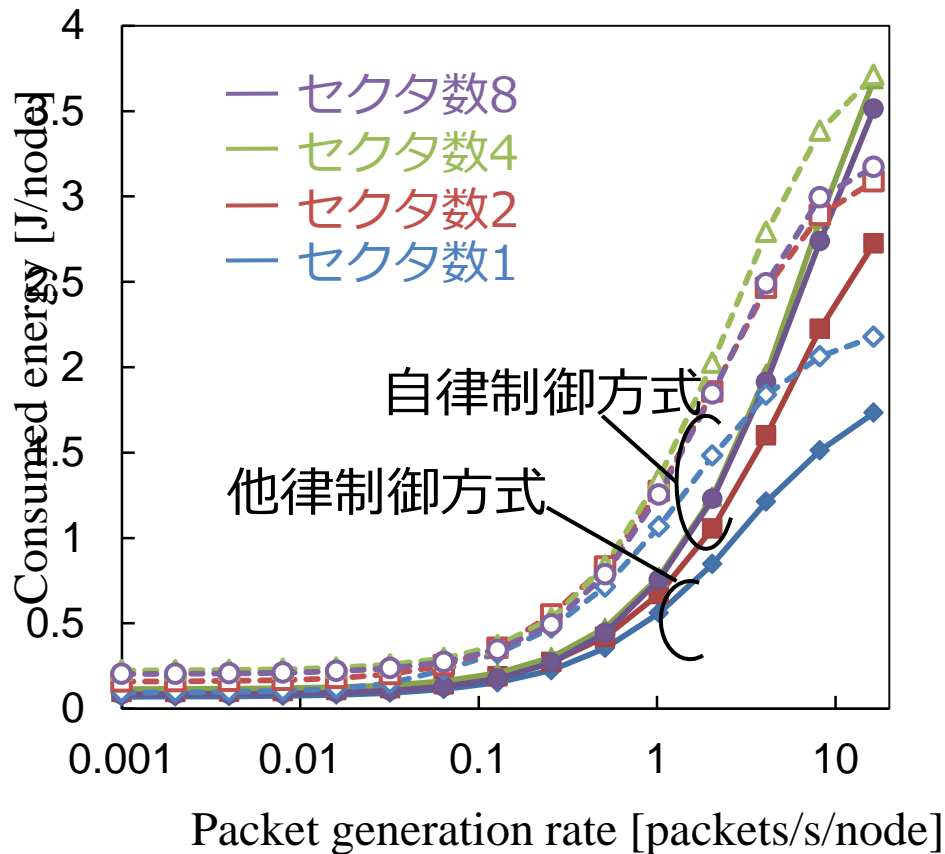
# 再送回数の評価



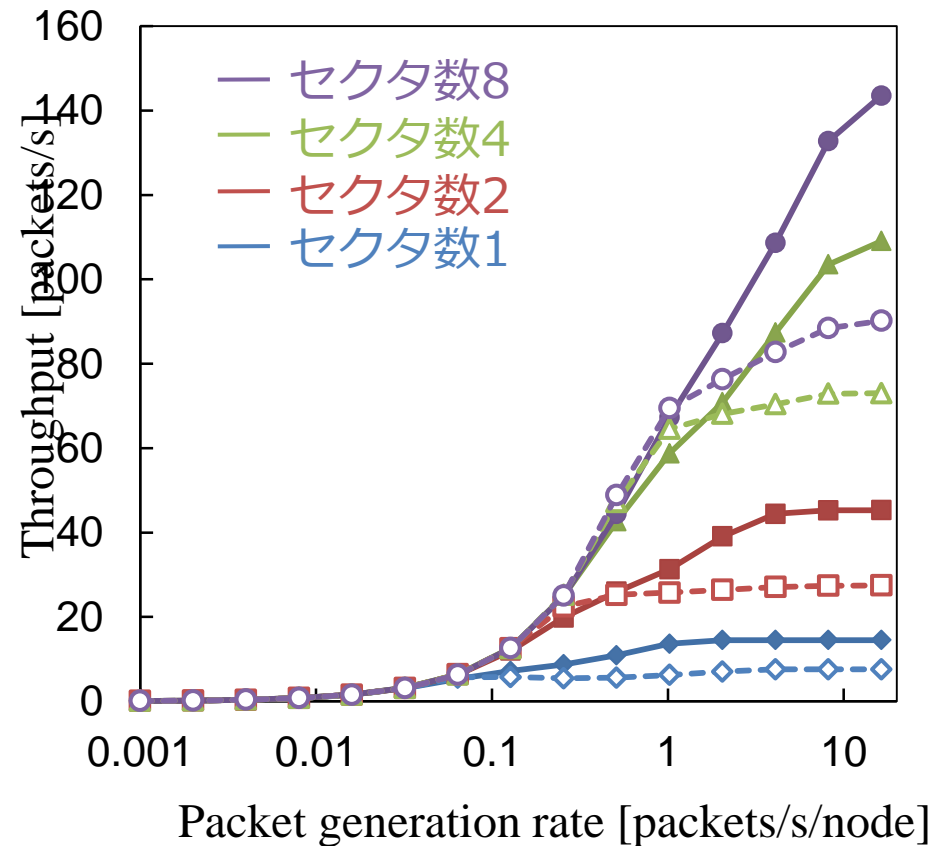
両提案方式で再送の削減を確認

# ノード数100の場合

## 消費エネルギー



## スループット



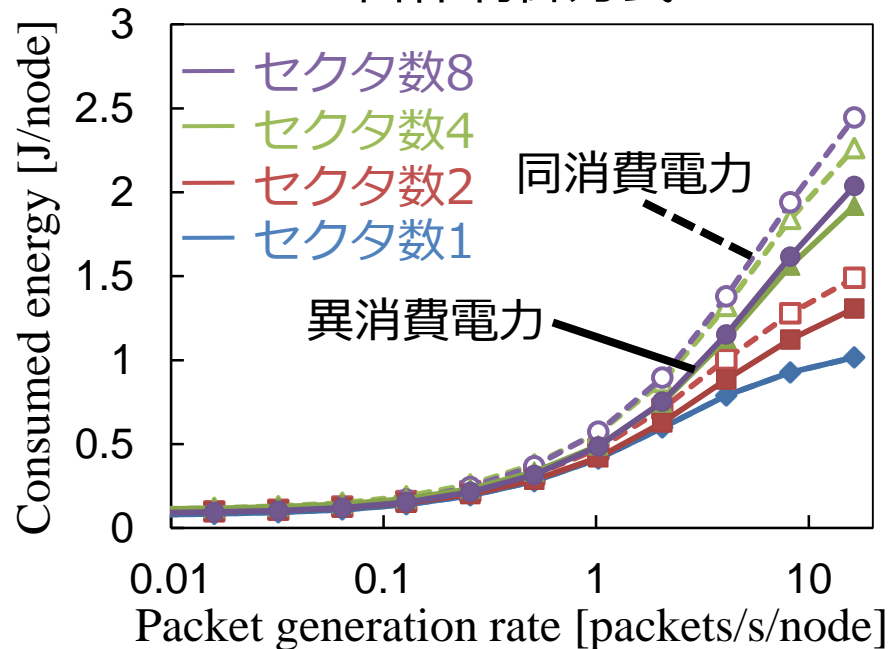
他律制御方式は自律制御方式に比べ省電力,  
高スループットで動作

# セクタ数が異なることによる消費電力の変化

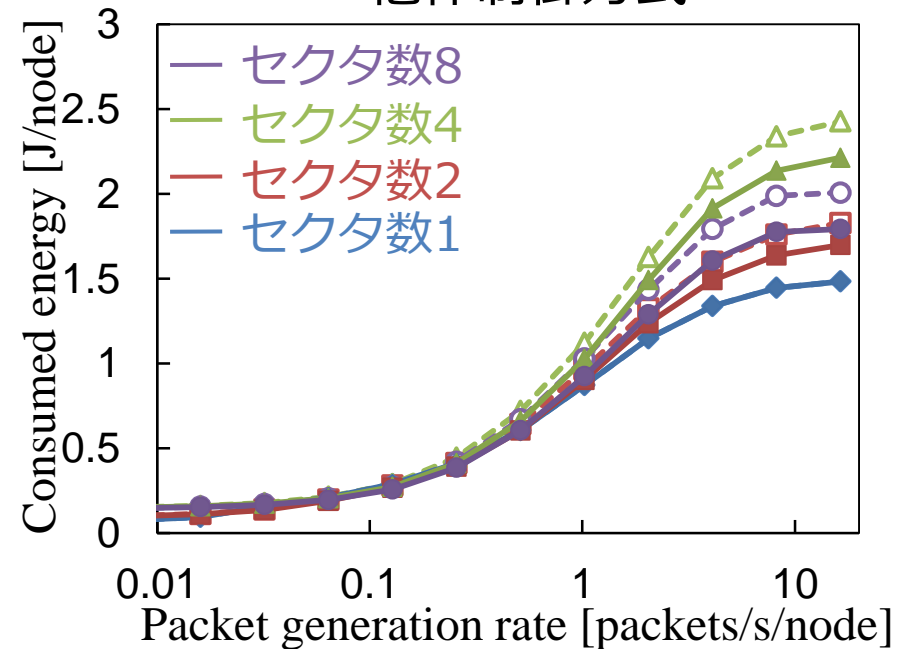
セクタ数増加により  
送信時の消費電力を削減可能

セクタ数	送信電力	消費電力
1	3dBm	49.5mW
2	-3dBm	37.5mW
4	-6dBm	34.8mW
8	-9dBm	33.6mW

自律制御方式



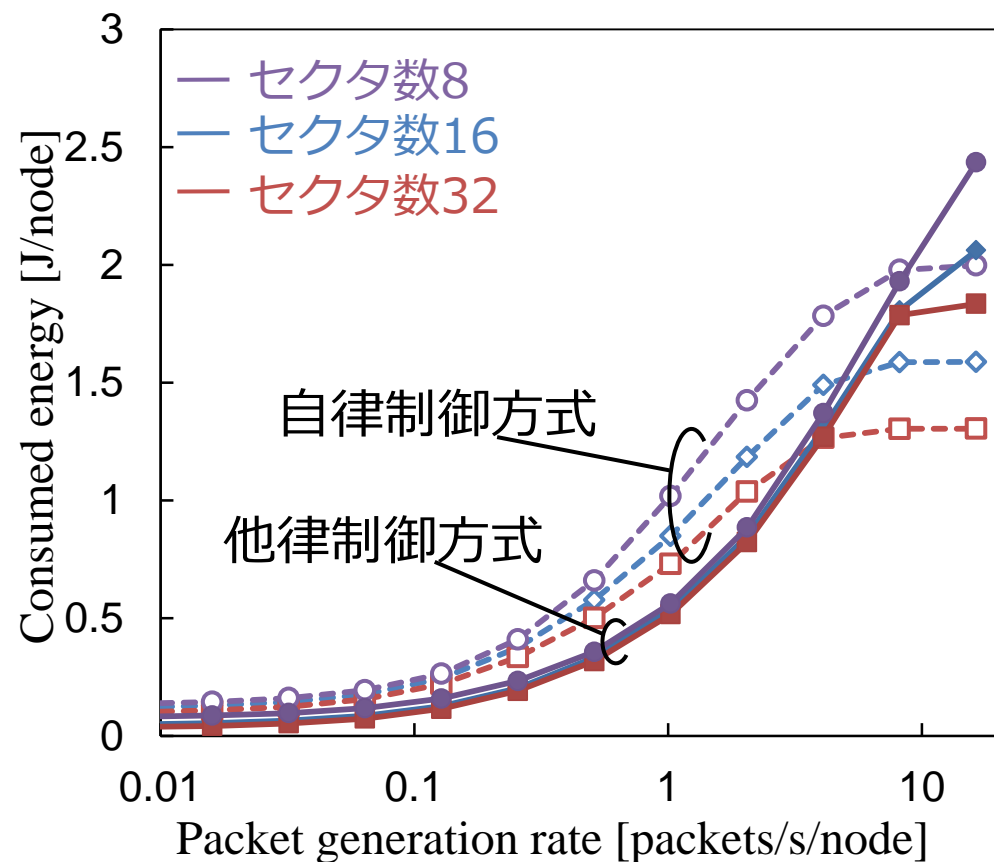
他律制御方式



各セクタ数による消費電力の違いは、総消費電力への影響が少ない

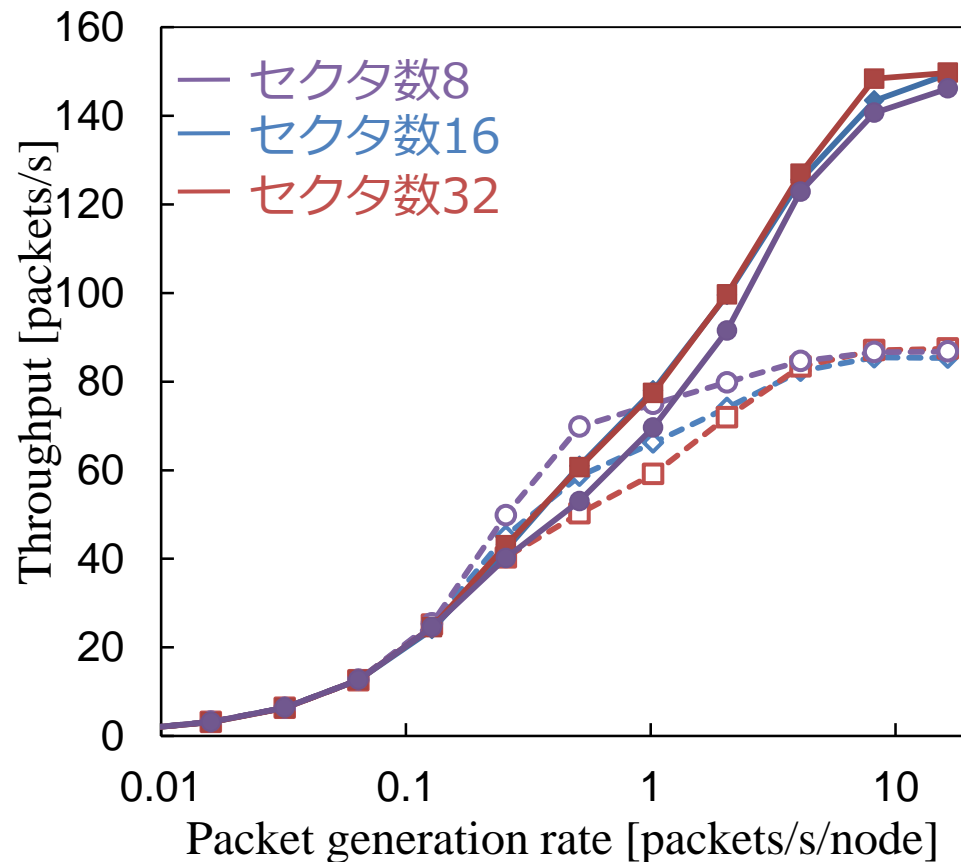
# 更にセクタ数を増加させた場合

## 消費エネルギー



タイムスロット数増加により  
セクタ数が多いほど  
消費エネルギーを削減

## スループット

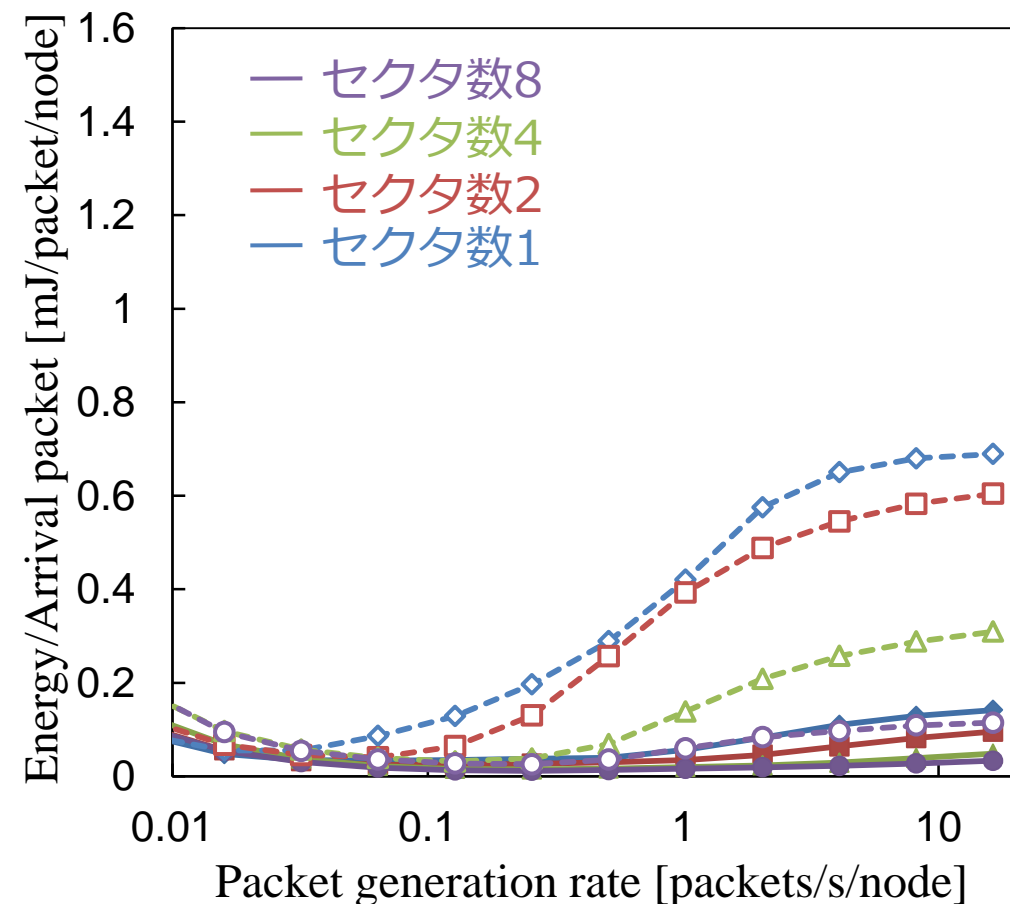


基地局付近のボトルネックにより  
スループットの向上は少ない

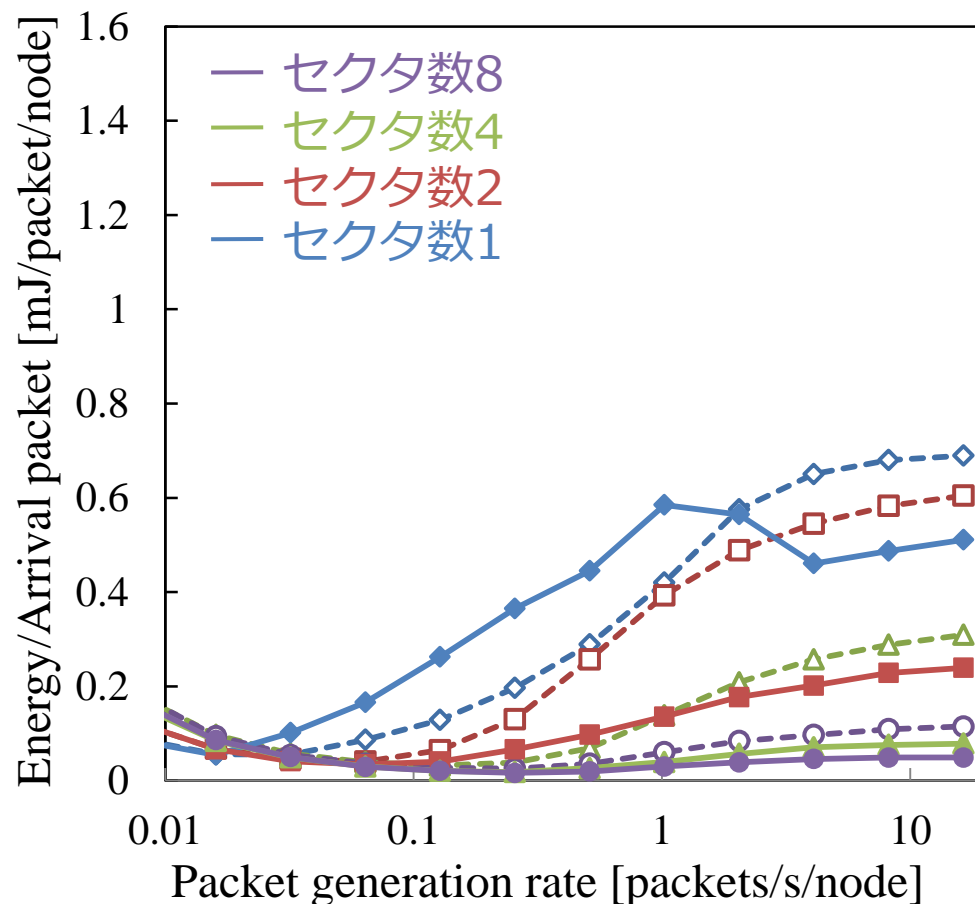
# 省電力特性

省電力特性：基地局に到着したパケットあたりの消費エネルギー

他律制御方式



自律制御方式

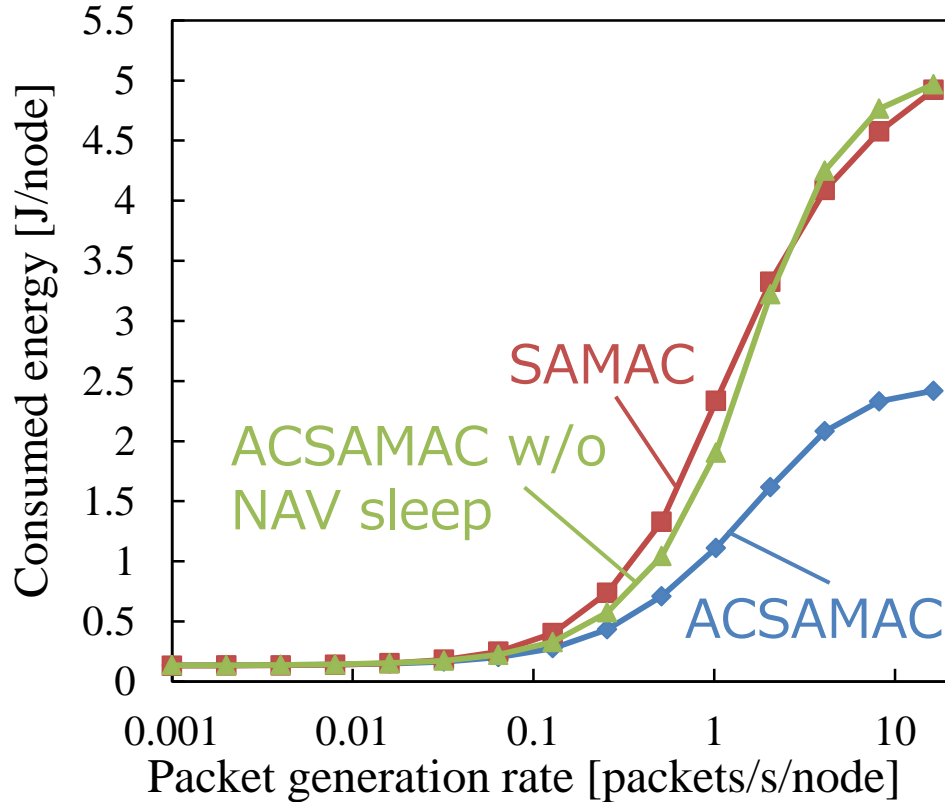




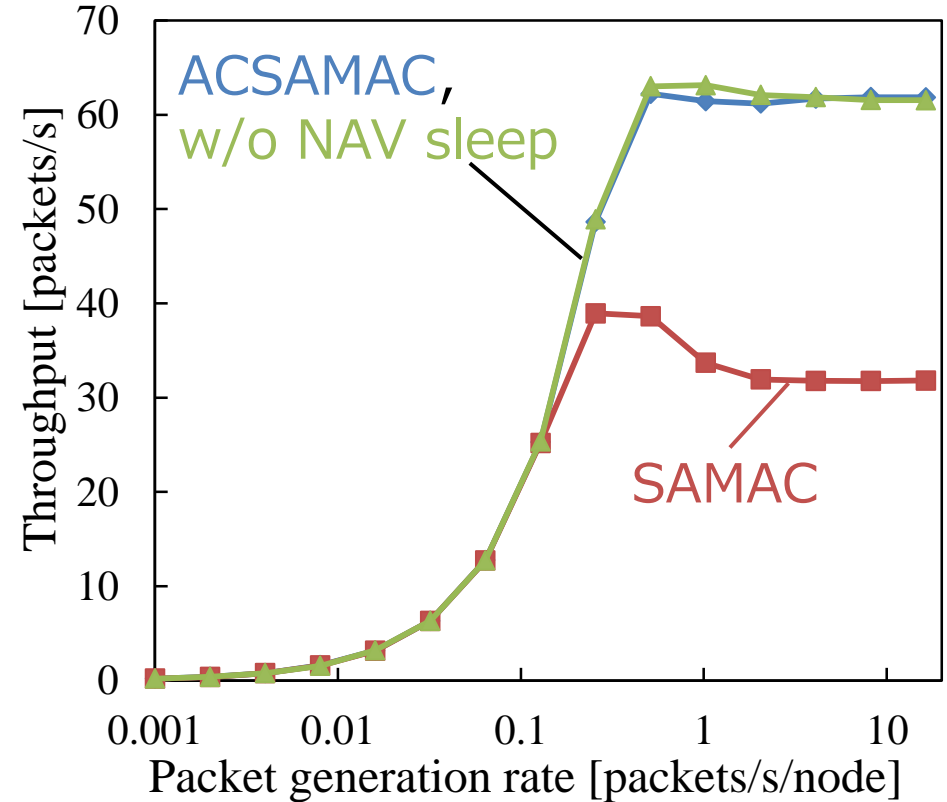
# 自律制御方式の特性評価：SAMACとの比較

セクタ数4(ビーム幅90°)

## 消費エネルギー



## スループット

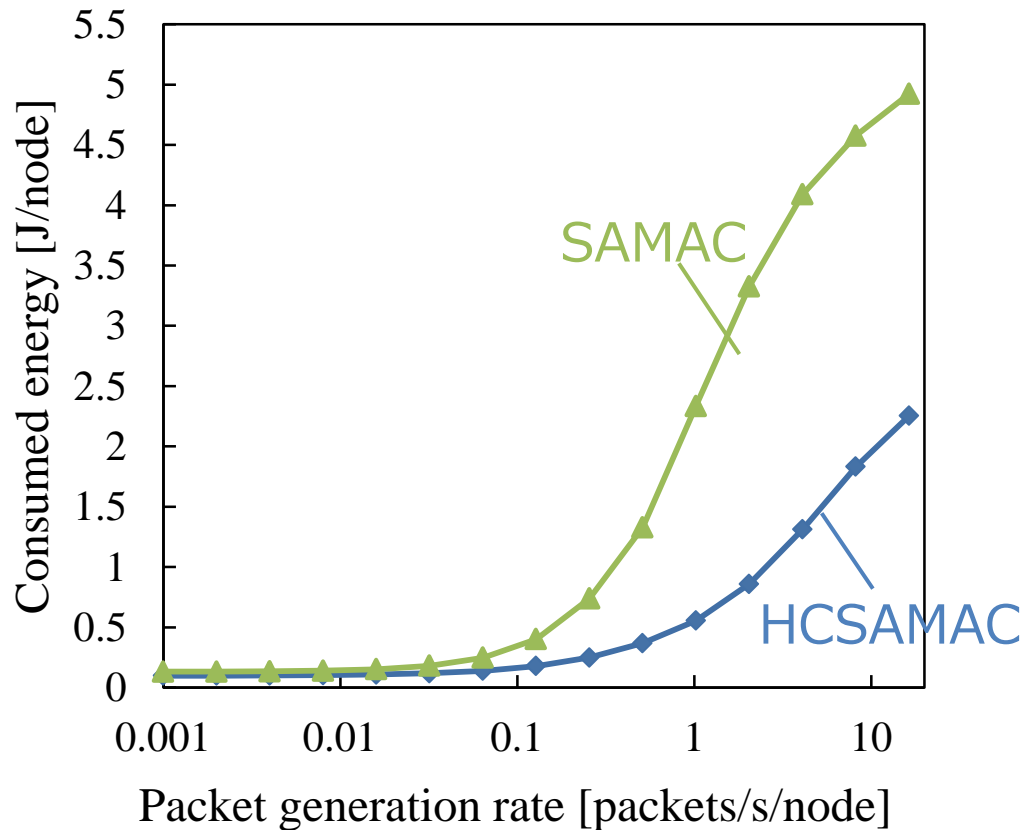


消費エネルギー, スループットともに向上

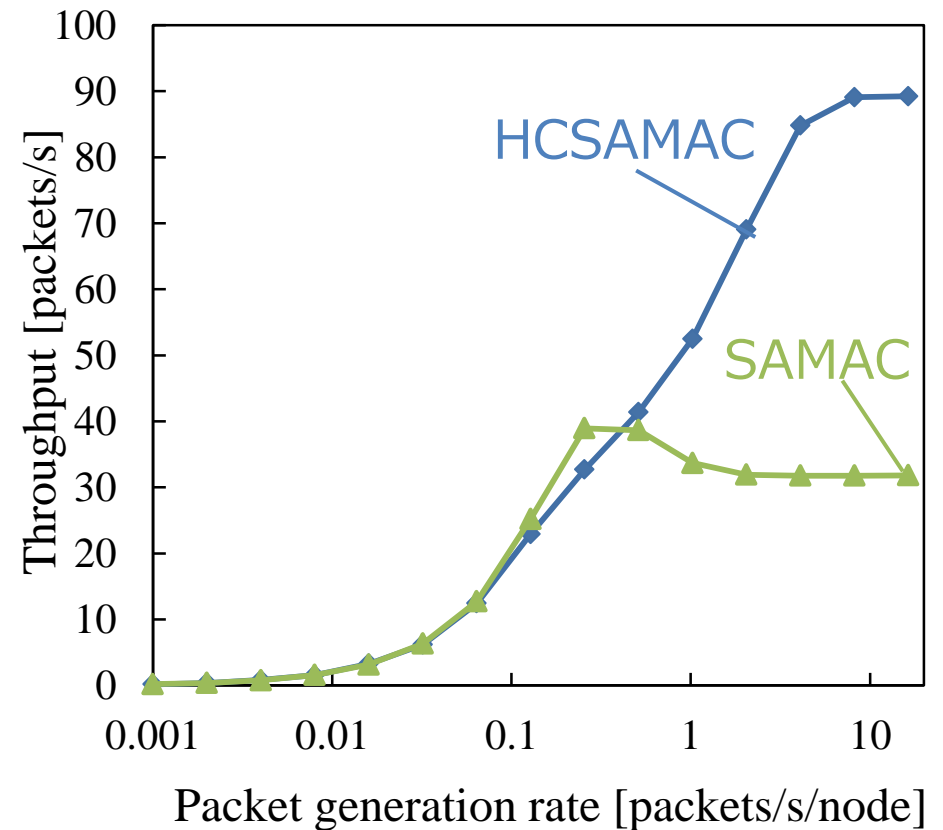
# 他律制御方式の特性評価：SAMACとの比較

セクタ数4(ビーム幅90°)

## 消費エネルギー



## スループット



消費エネルギー, スループットともに向上

# シミュレーション結果：タイムスロット数

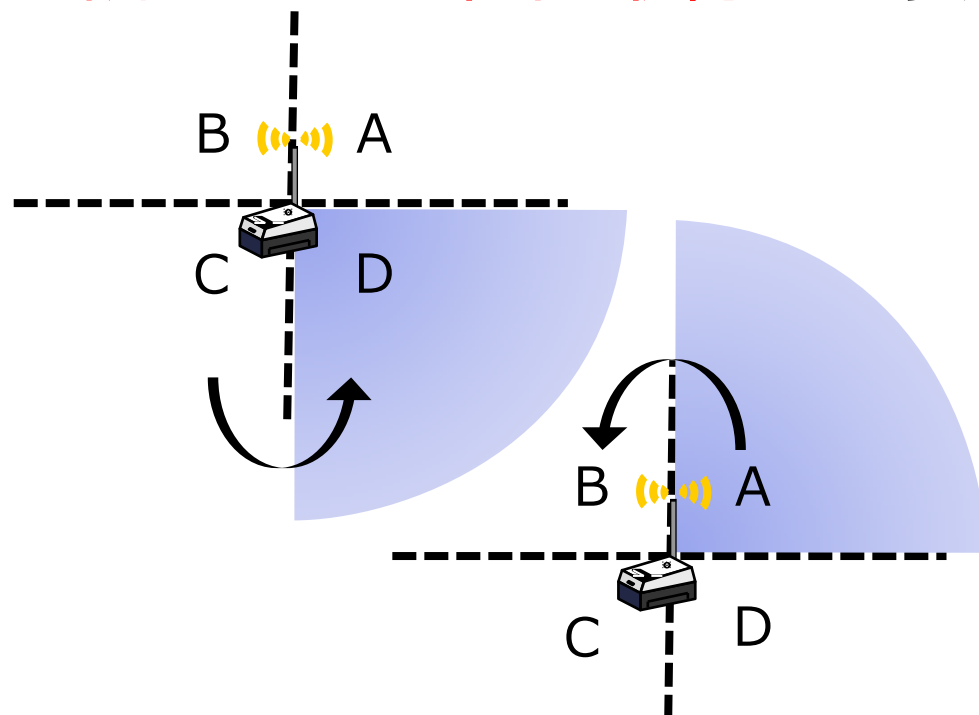
セクタ数	1	2	4	8
平均タイムスロット数	9.4	8.2	6.3	8.1
基地局が次回受信までにかかるタイムスロット数	9.4	4.1	1.6	1.01

- スロット数が少ないほど，次のスロットまでの間隔が短く消費電力が増加
- タイムスロット数が少なくても，基地局付近でボトルネックになっているため，スループットの向上効果が少ない

# SAMACの位置取得方法

空間を分割するために・・・

近隣ノードの位置取得が必要



各セクタでRSSI※を測定

※Received signal strength indication

各セクタでのRSSI値

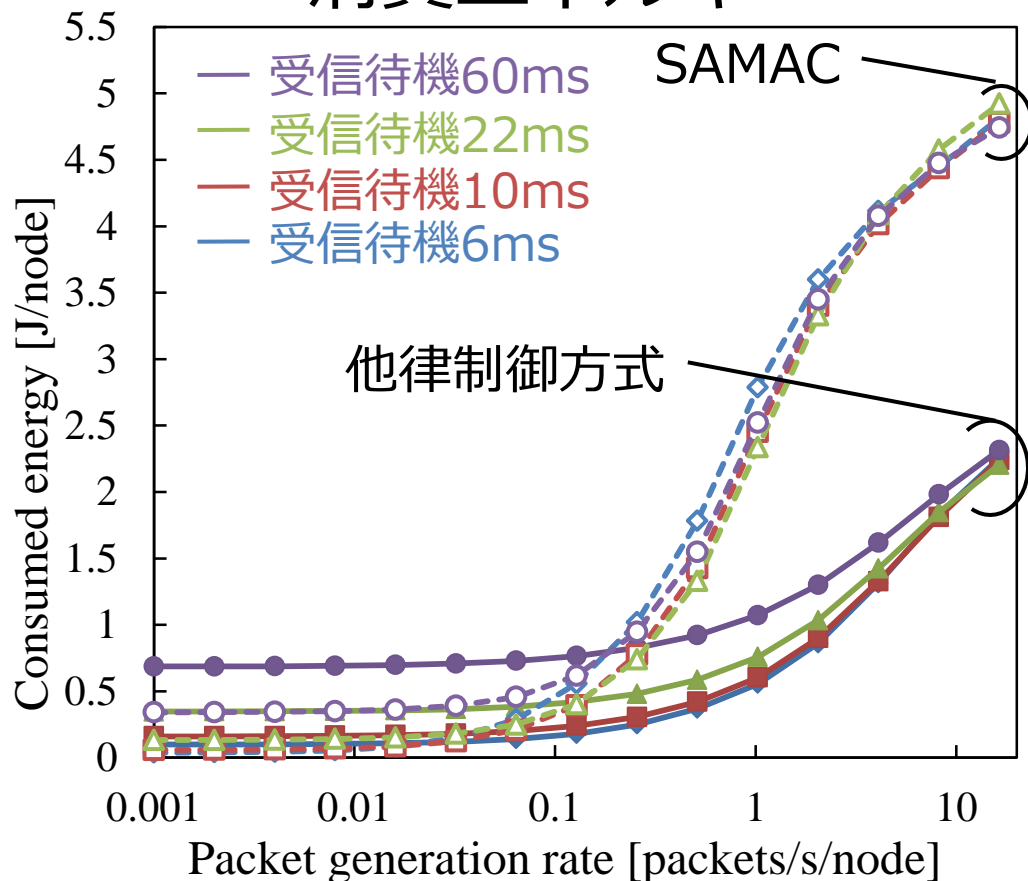
自ノード	相手ノード	RSSI [dBm]
A	A	-75
A	B	-70
⋮	⋮	⋮
D	B	-65
⋮	⋮	⋮
D	D	-70

各RSSIから近隣ノードの位置を推定し、  
ルート、スケジュールを形成

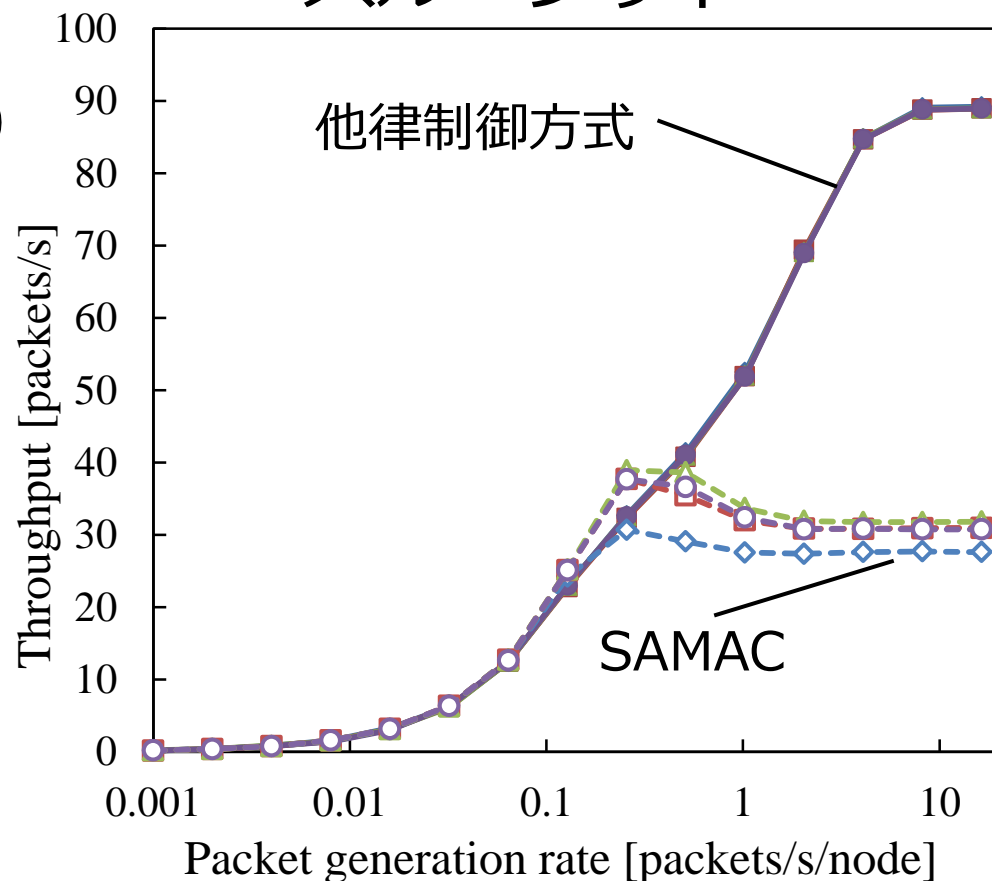
# 他律制御方式の受信待機時間の影響

受信待機時間：各親ノードが受信のために必ず受信待機する時間

## 消費エネルギー



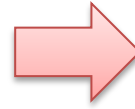
## スループット



他律制御方式は受信待機時間を短くしても  
スループットの性能が変わらない

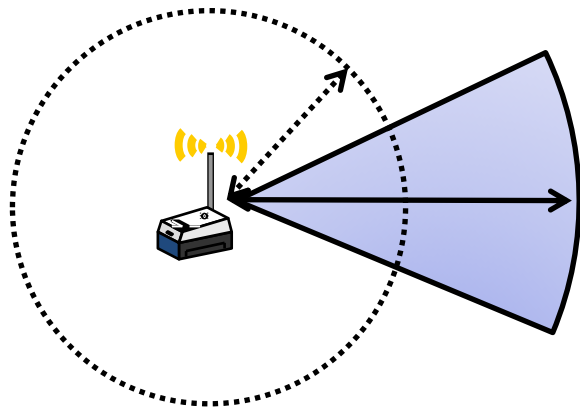
# 可変指向性アンテナの特徴：送信電力の削減

センサネットワークでは  
通信時の電力消費**大**



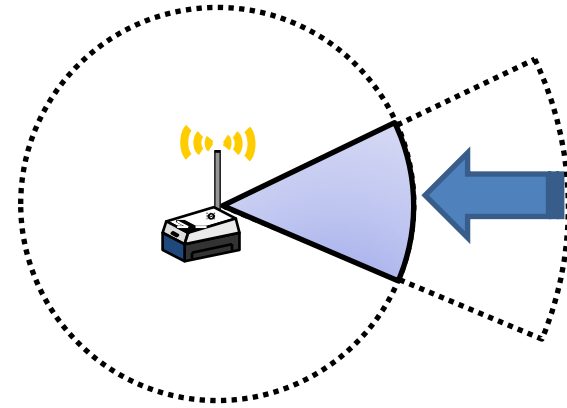
セクタアンテナを用いて  
**送信電力**を削減

## セクタアンテナの特徴



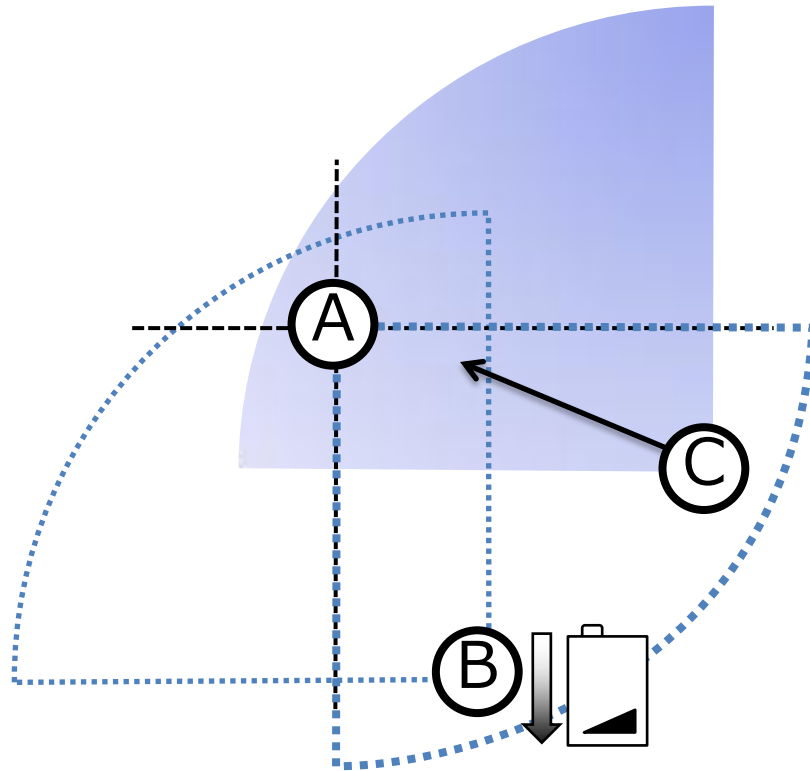
無指向性に比べ**遠く**に  
放射することが可能

## 電力制御による応用



無指向性に比べ  
**低電力**で送信可能

## SAMACの問題点(2)



非通信時に受信状態で  
待機  
⇒消費電力が増加

