

TOSHIBA

Leading Innovation >>>

Verification of response time in various Real-time implementation

Kouta Okamoto

Advanced Software Technology Group
Corporate Software Engineering Center
TOSHIBA CORPORATION

2010/6/4

本日の発表のアウトライン

- 問題提起
- 検証内容
 - ターゲット
 - 周期実行遅延の測定プログラムフロー
 - 測定環境
- 測定結果
 - リアルタイム性能比較
- まとめ

はじめに

要求

既存の組み込みOS用に開発された
アプリケーションをLinuxへ移植したい！！

懸念事項・・・

Linuxの応答性能がどの程度か
分からない



VxWorks

uITRON

POSIX

pSOS

Linux

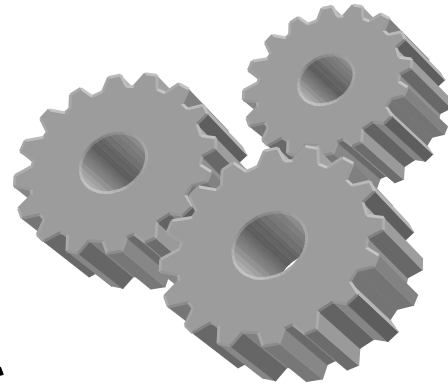
Linuxでのリアルタイム実現方式

以下のような実現方式がある

- 標準Linuxカーネル
 - カーネルに変更を加えたくない場合
 - **そこそこのレスポンスタイム**が得られる
- RTパッチ適用カーネル
 - **短いレスポンスタイム**を必要とする場合
 - Linuxの標準APIを利用可能
- Xenomai
 - **より短いレスポンスタイム**を必要とする場合
 - XenomaiのリアルタイムAPIを使用する必要あり

…それで

結局どの程度の応答性能なの？



知りたいこと

- 最良値
- 最悪値
- レスポンスのばらつき

レスポンスの種類

- 割り込みのレスポンス
- プロセス起動のレスポンス
- 周期起動のレスポンス
- etc...



今回は・・・

周期実行における
レスポンス(レイテンシ)を検証

ターゲットカーネル

1. **2.6.26lenny**: Debian/GNU Linux 5.0(lenny)標準カーネル
 - Debian lennyの標準カーネル
2. **2.6.26preemptive**: カーネル内プリエンプションイネーブル設定カーネル
 - Debian lennyの標準カーネルをベースにコンフィグレーションを変更

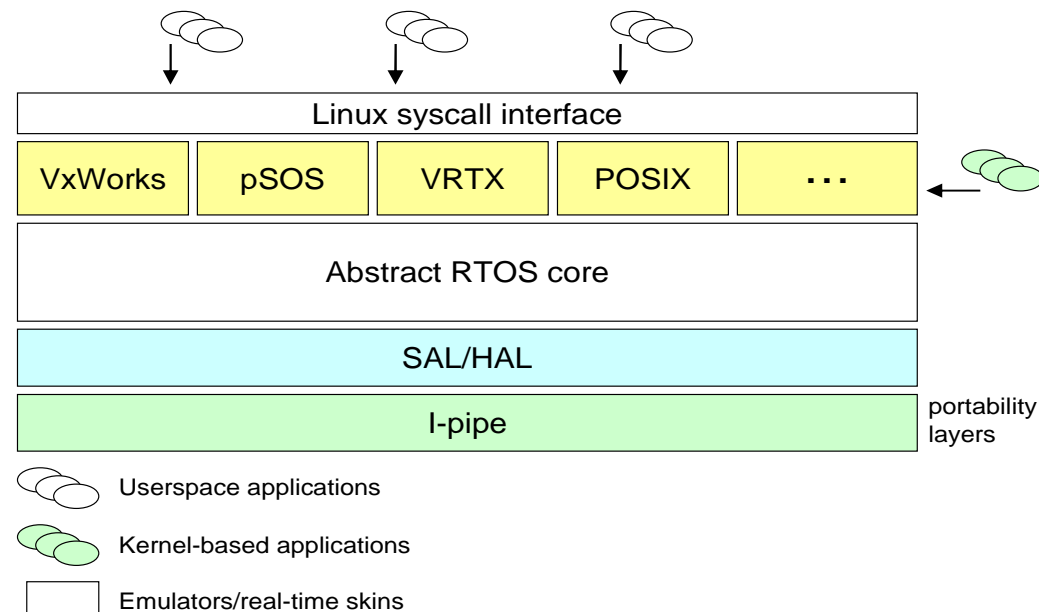
```
Processor type and features --->
  Preemption Model (Preemptible Kernel (Low-Latency Desktop)) --->
    ( ) No Forced Preemption (Server)
    ( ) Voluntary Kernel Preemption (Desktop)
    (X) Preemptible Kernel (Low-Latency Desktop)
[*] Preemptible RCU
[ ] Enable tracing for RCU - currently stats in debugfs
```

3. **2.6.26.8RT**: RTパッチ 適用カーネル
 - バージョン2.6.26.8カーネルソースにRTパッチを適用
4. **2.6.27Xenomai**: Xenomaiカーネル
 - バージョン2.6.27カーネルソースにXenomaiパッチを適用

Xenomaiって？

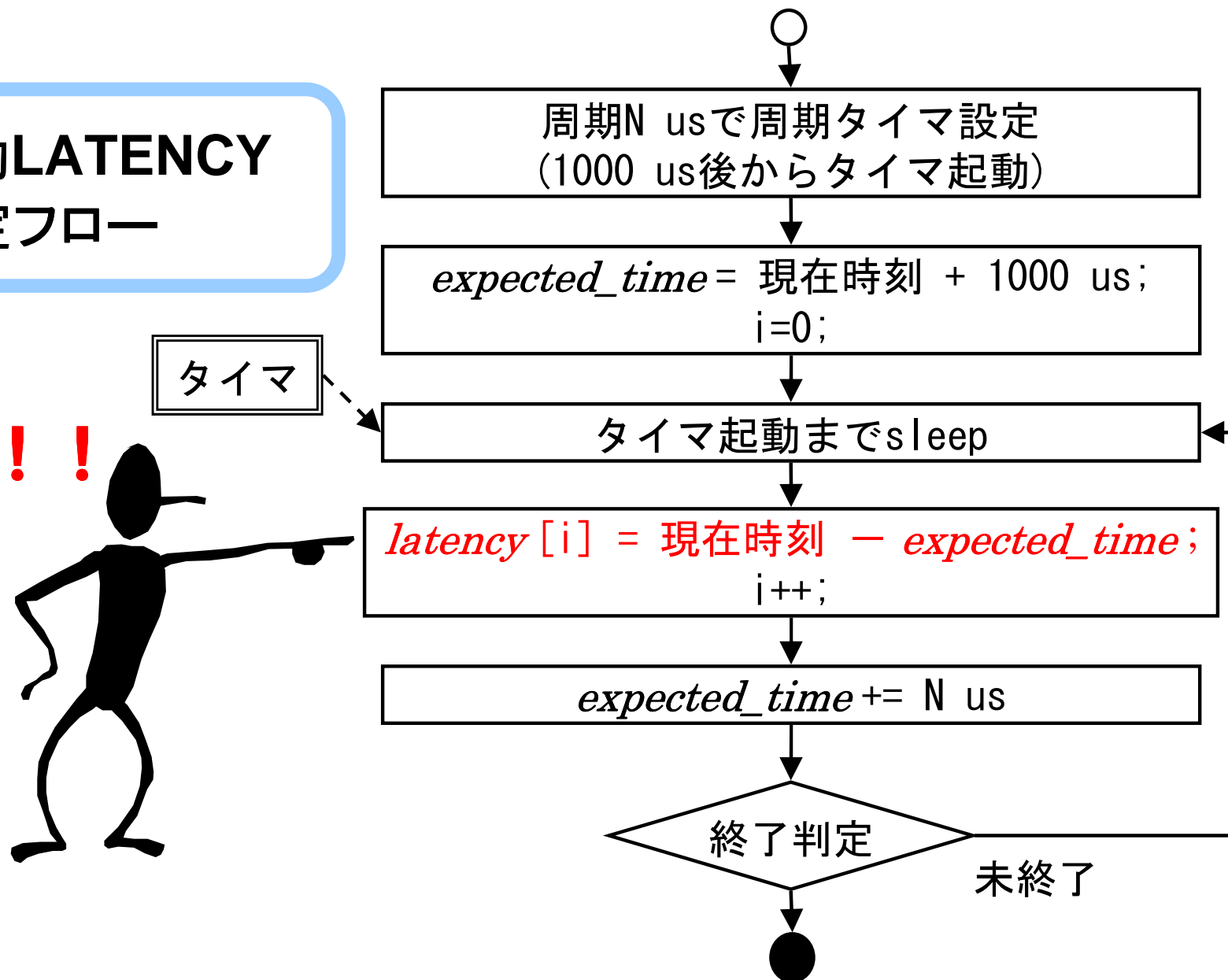
■ Xenomai

- Linuxのカーネルに組み込んで使用するリアルタイムモジュール
 - Ipipeを用いて、割り込みマスクと割り込みハンドリングポリシーをLinuxとXenomaiで個別に管理
 - LinuxとXenomaiを切り離すことでリアルタイム性能確保
- 各種スキンによりリアルタイムOSのAPIをエミュレート
 - VxWorks、pSOS、VRTX、POSIX、uITRON等



測定プログラム情報(1/3)

周期起動LATENCY 測定フロー



測定プログラム情報(2/3)

プログラム情報

- **2.6.26lenny、2.6.26preemptive、2.6.26.8RT**
 - Linux標準の機能を利用
 - ユーザモードで走行
- **2.6.27Xenomai**
 - XenomaiのリアルタイムAPIを利用
 - カーネルモードで走行

カーネル	時刻取得	周期設定	周期実行待ち	走行モード
2.6.26lenny	clock_gettime	setitimer	sigwait	ユーザ
2.6.26preemptive	clock_gettime	setitimer	sigwait	ユーザ
2.6.26.8RT	clock_gettime	setitimer	sigwait	ユーザ
2.6.27Xenomai	rt_time_tsc	rt_task_set_periodic	rt_task_wait_period	カーネル

測定プログラム情報(3/3)

プログラム実行情報

- 周期
 - 100 μ 秒
 - 300 μ 秒
 - 500 μ 秒
 - 1000 μ 秒
- ループ回数
 - それぞれの周期で1,000,000回のループを測定

測定環境

- CPU

- Pentium4 2.66 GHz

- メモリ

- 512MB

- L1キャッシュ

- 512KB



PC環境

ソフトウェア 環境

- 高負荷

- CPU負荷プログラム

- I/O負荷プログラム

- 低負荷

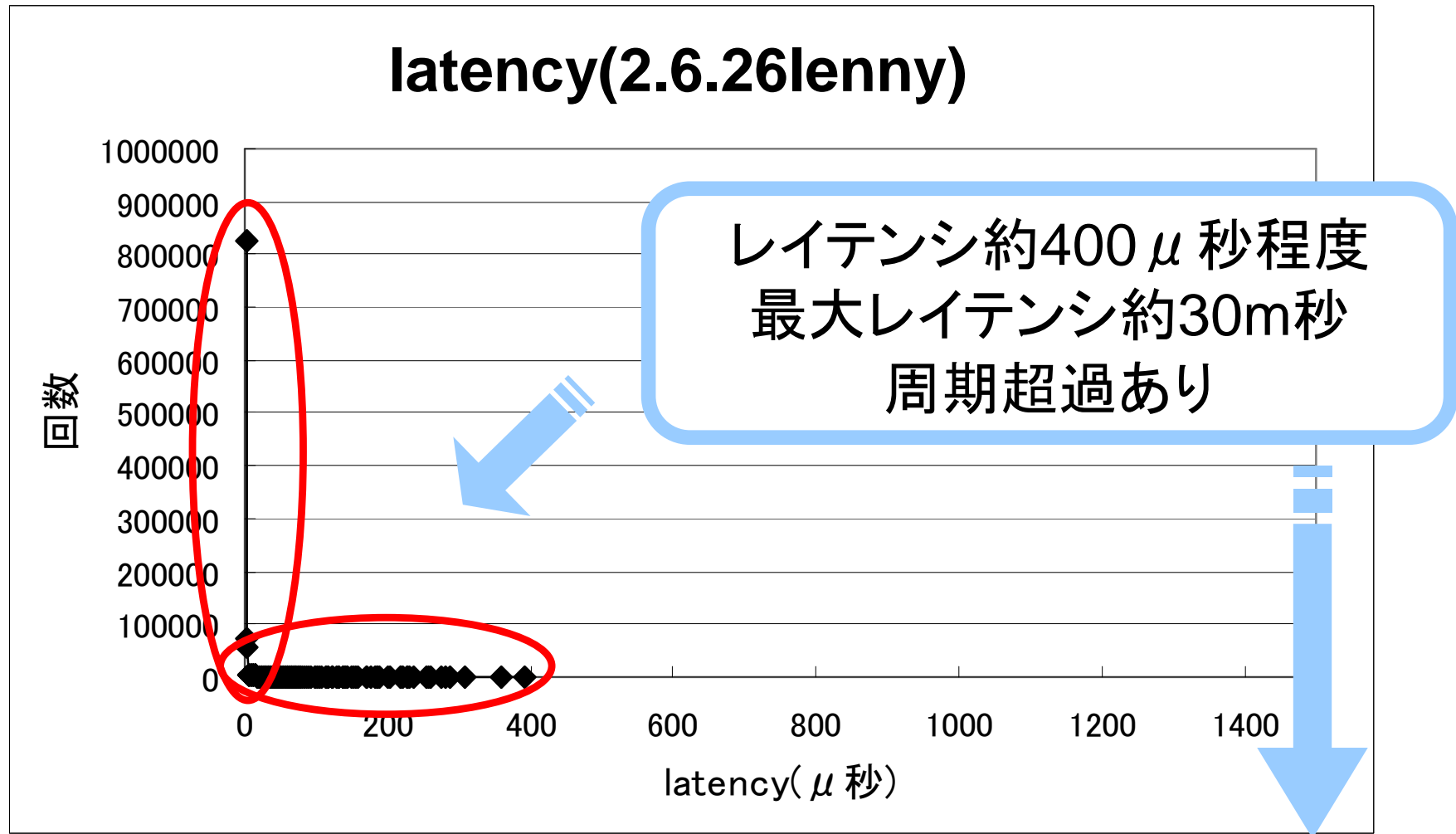
- 通常状態

- 負荷率約50%

- CPU負荷を調整したプログラム

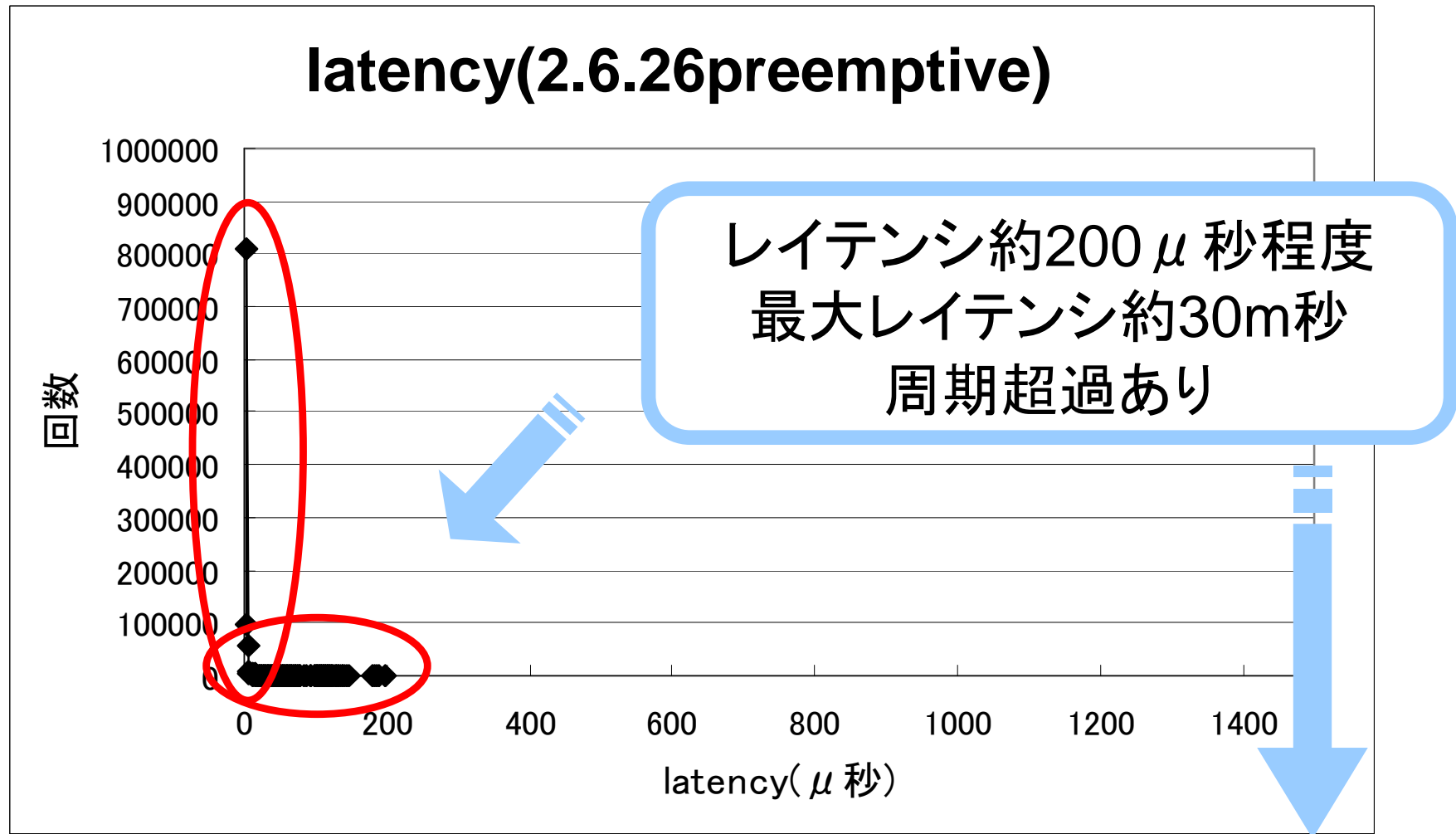


測定結果(周期1000us/高負荷)



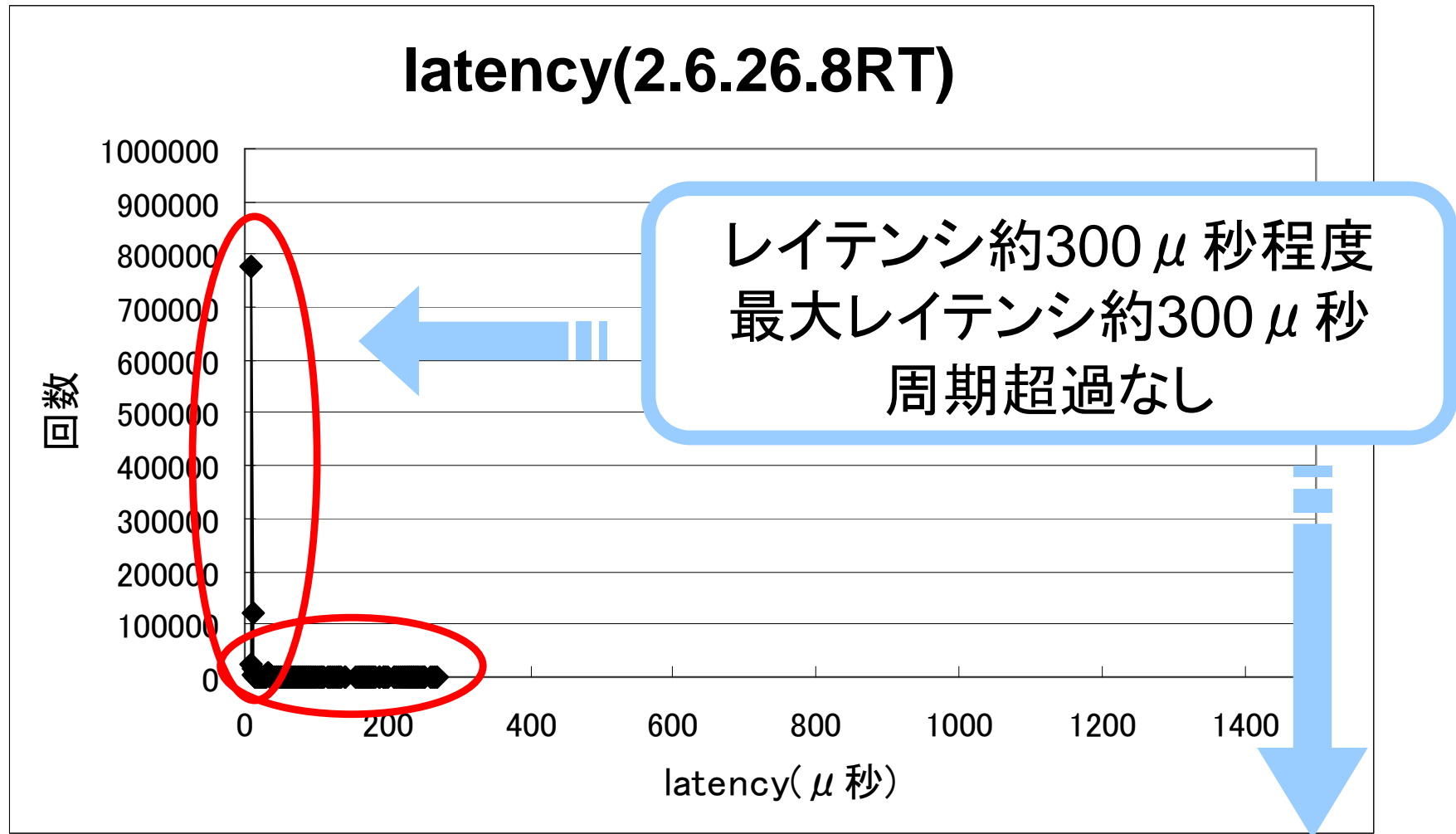
	平均レイテンシ	最大レイテンシ	標準偏差	周期を超えた回数
2.6.26lenny	3.882 us	28101.026 us	7.374	82

測定結果(周期1000us/高負荷)



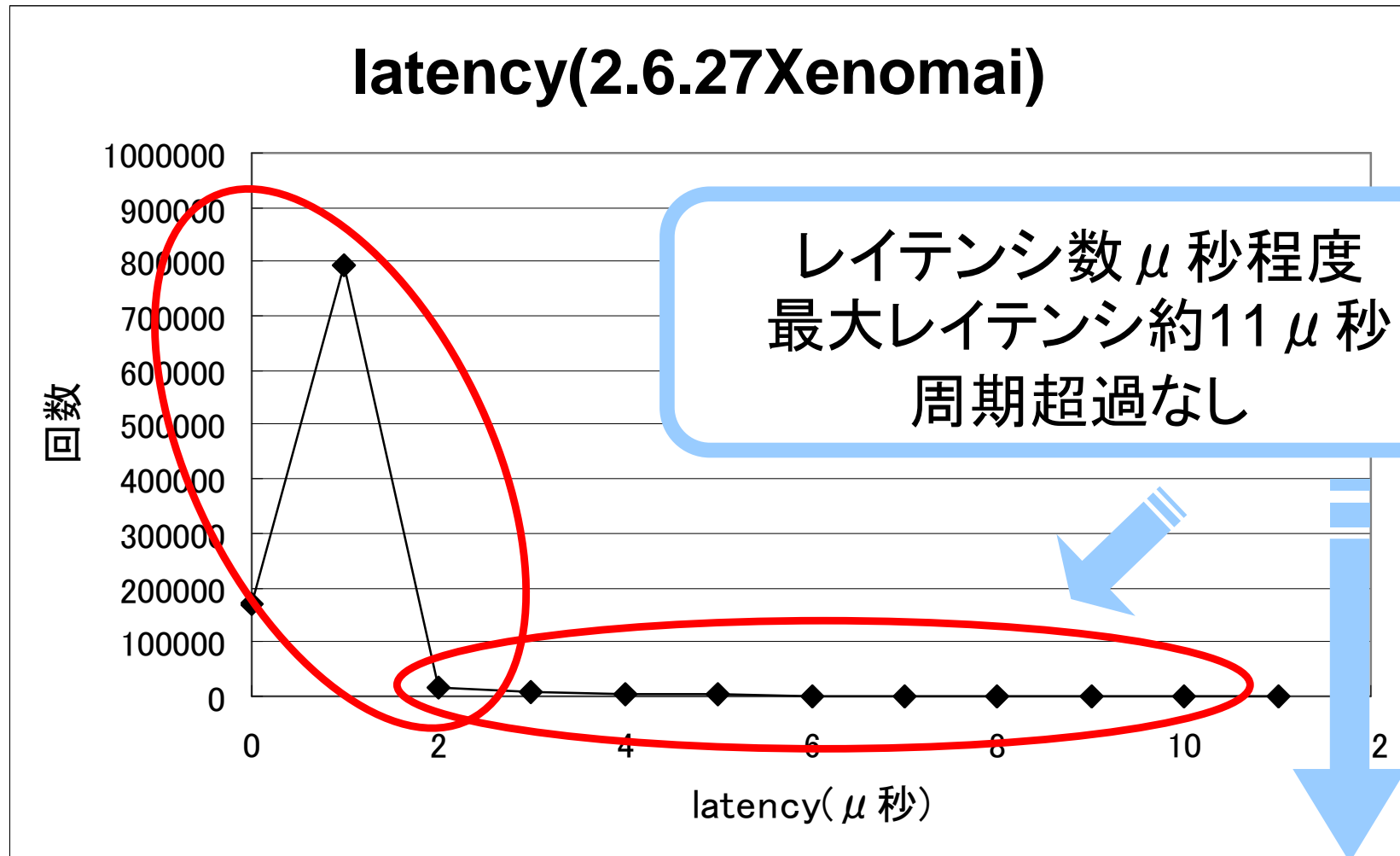
	平均レイテンシ	最大レイテンシ	標準偏差	周期を超えた回数
2.6.26preemptive	4.768 us	27854.136 us	6.418	54

測定結果(周期1000us/高負荷)



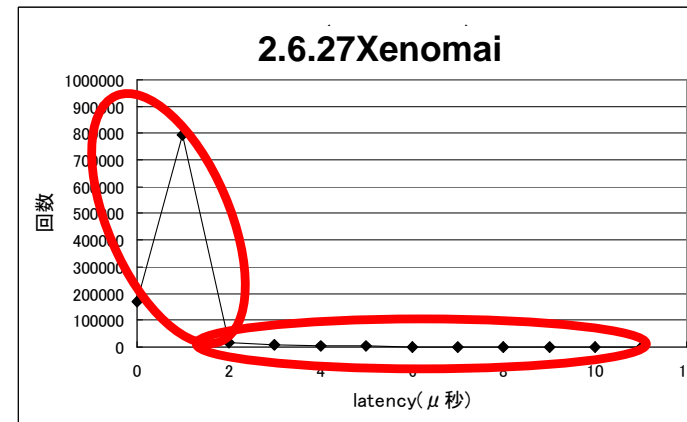
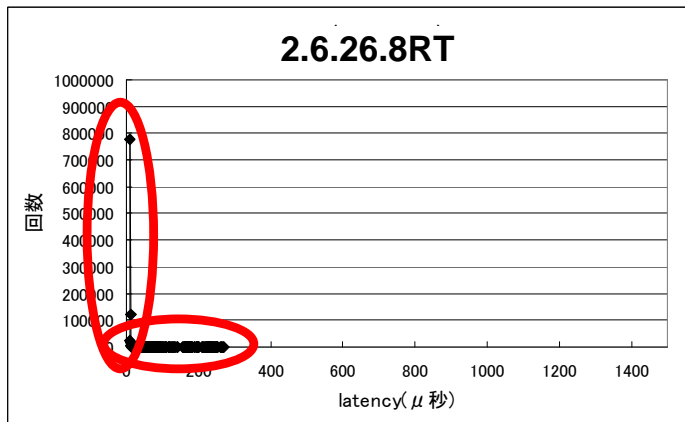
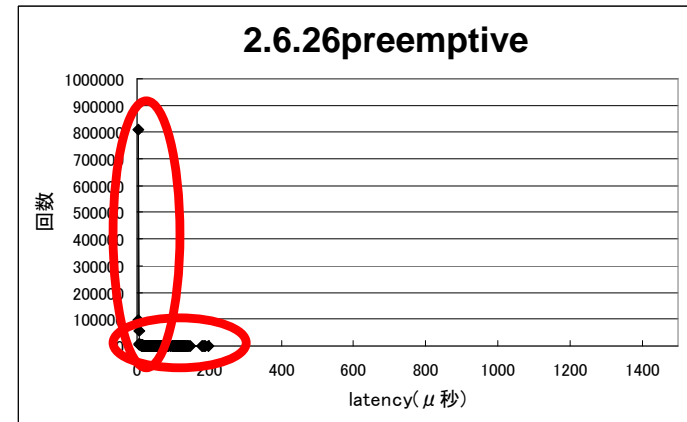
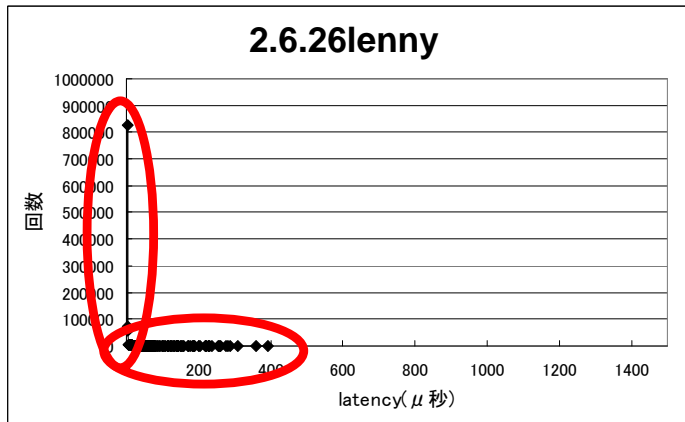
	平均レイテンシ	最大レイテンシ	標準偏差	周期を超えた回数
2.6.26.8RT	11.829 us	270.649 us	6.455	0

測定結果(周期1000us/高負荷)



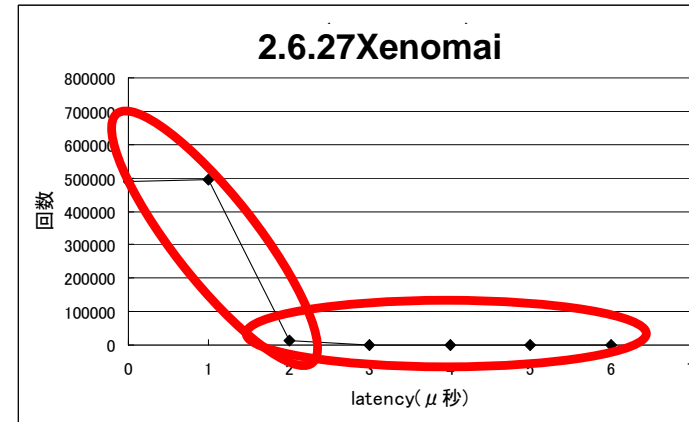
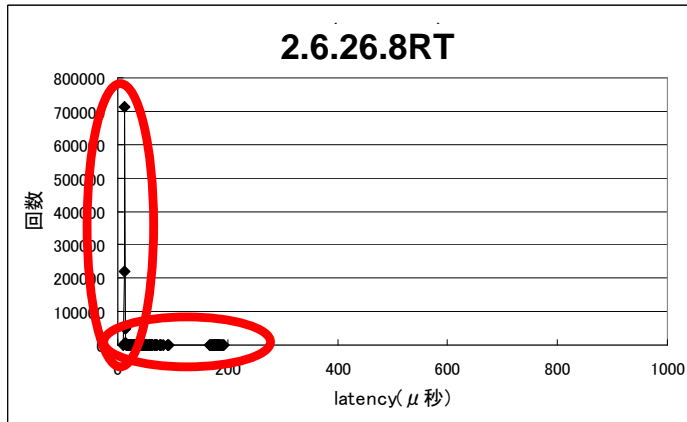
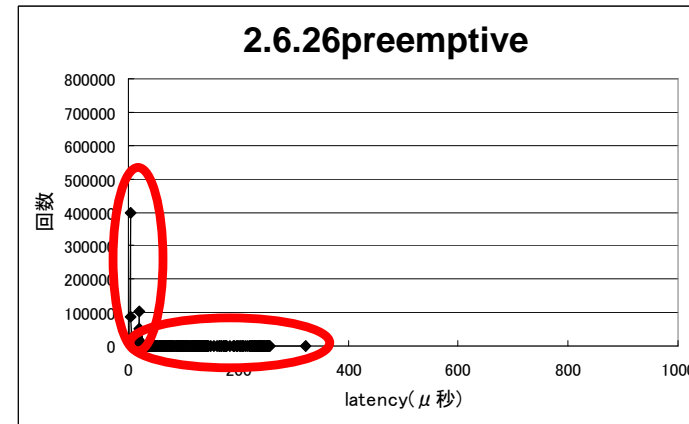
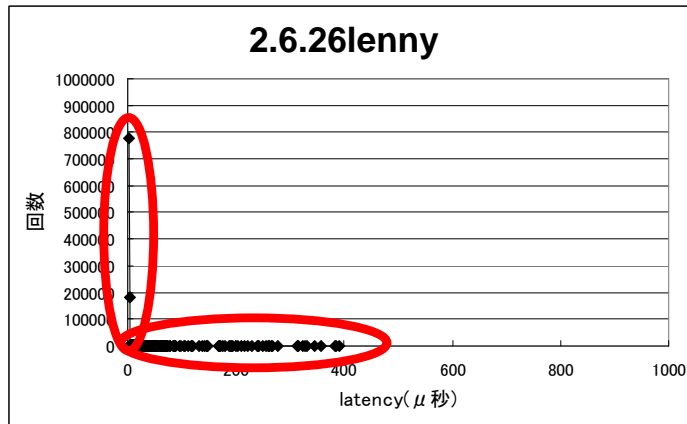
	平均レイテンシ	最大レイテンシ	標準偏差	周期を超えた回数
2.6.27Xenomai	1.182 us	11.274 us	0.64	0

測定結果(周期1000us/高負荷)



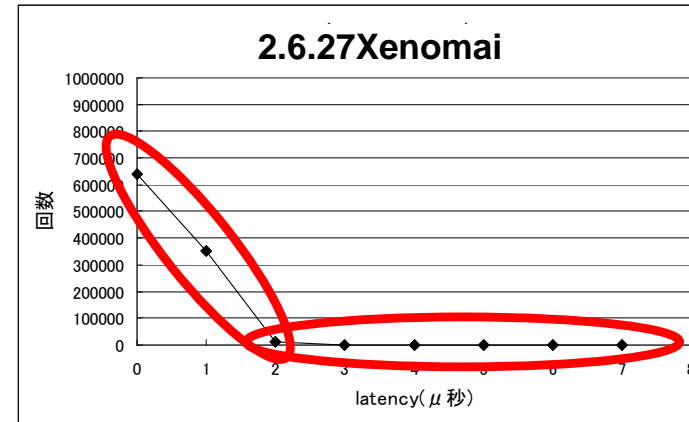
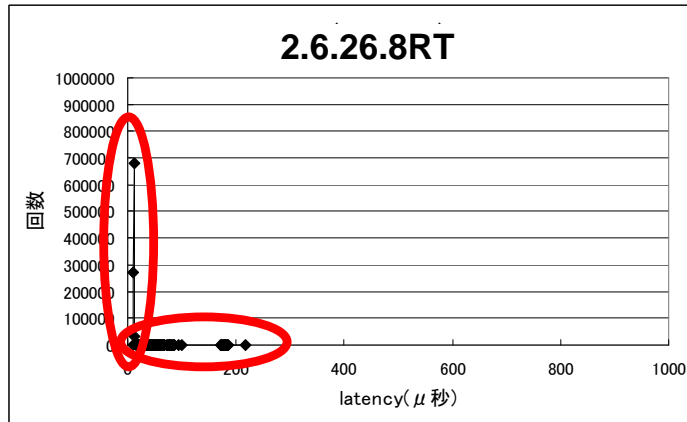
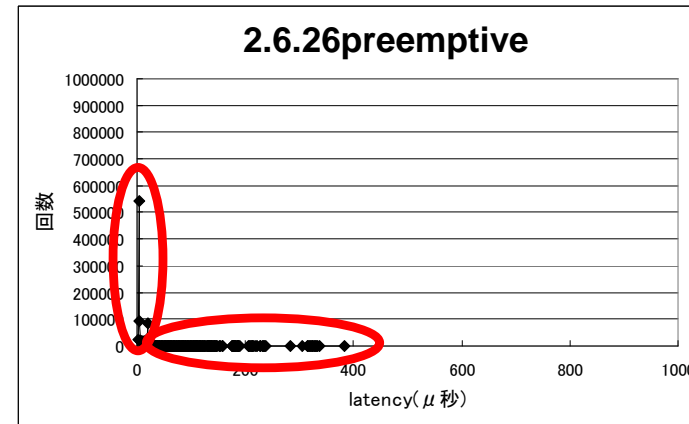
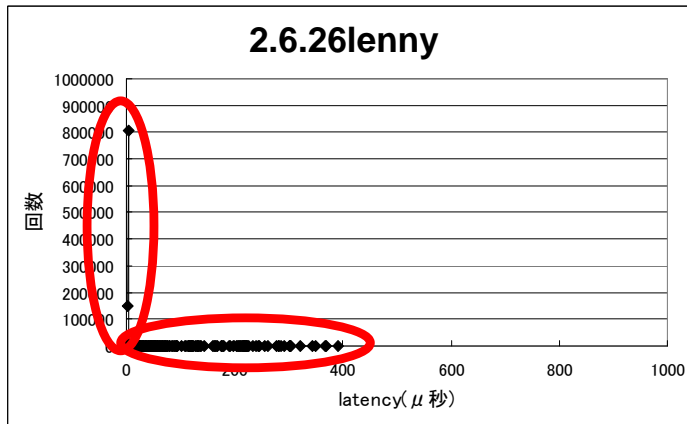
	平均レイテンシ	最大レイテンシ	標準偏差	周期を超えた回数
2.6.26lenny	3.882 us	28101.026 us	7.374	82
2.6.26preemptive	4.768 us	27854.136 us	6.418	54
2.6.26.8RT	11.829 us	270.649 us	6.455	0
2.6.27Xenomai	1.182 us	11.274 us	0.64	0

測定結果(周期500us/高負荷)



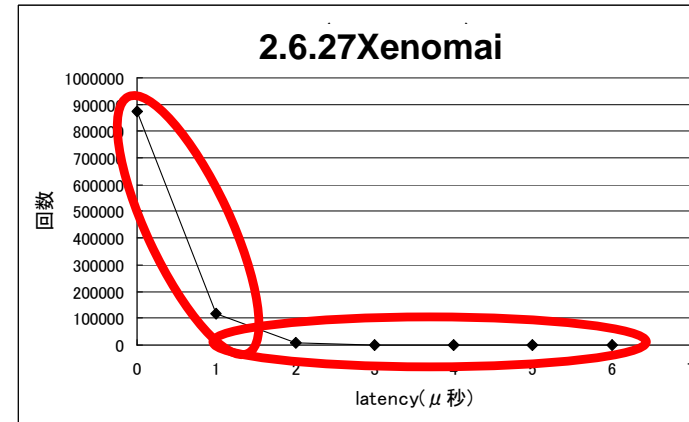
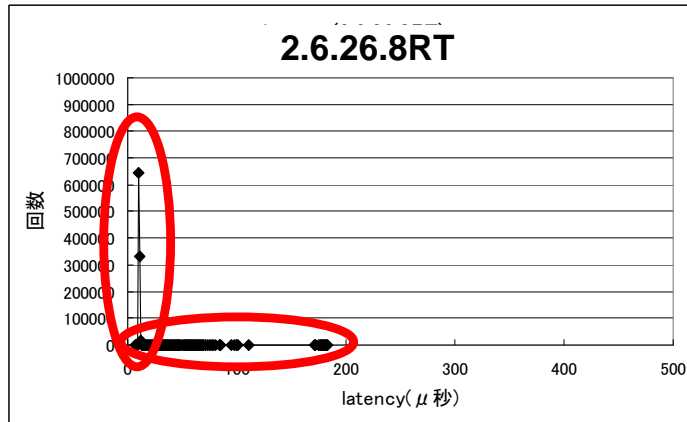
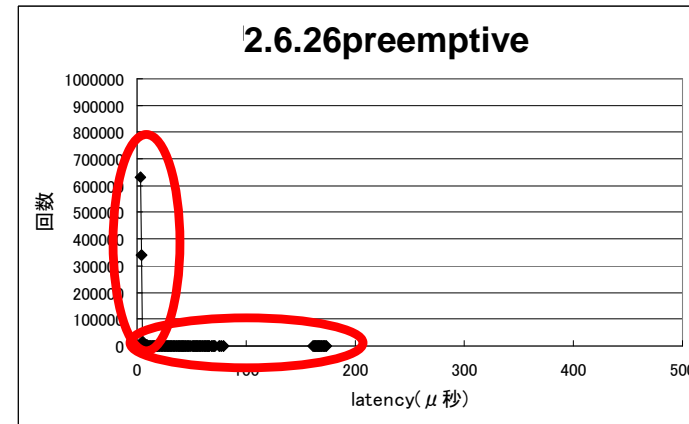
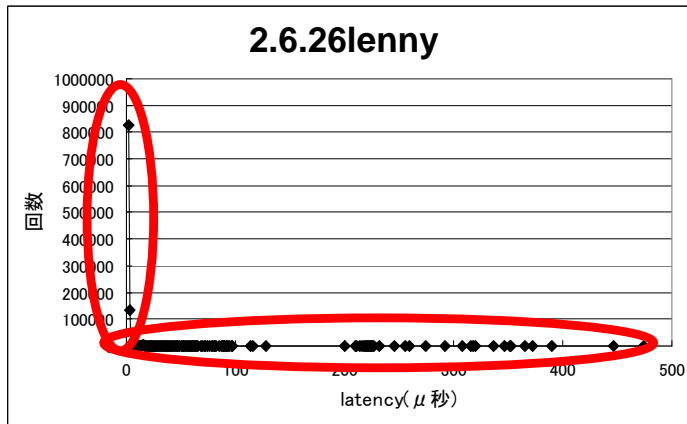
	平均レイテンシ	最大レイテンシ	標準偏差	周期を超えた回数
2.6.26lenny	3.276 us	28117.493 us	6.302	111
2.6.26preemptive	9.399 us	27988.258 us	10.322	165
2.6.26.8RT	12.420 us	192.179 us	2.911	0
2.6.27Xenomai	1.048 us	6.846 us	0.533	0

測定結果(周期300us/高負荷)



	平均レイテンシ	最大レイテンシ	標準偏差	周期を超えた回数
2.6.26lenny	3.686 us	28031.854 us	6.504	196
2.6.26preemptive	7.493 us	28050.721 us	8.784	208
2.6.26.8RT	11.308 us	27959.353 us	4.294	93
2.6.27Xenomai	1.009 us	7.136 us	0.51	0

測定結果(周期100us/高負荷)



	平均レイテンシ	最大レイテンシ	標準偏差	周期を超えた回数
2.6.26lenny	3.113 us	28078.559 us	5.182	436
2.6.26preemptive	4.141 us	28090.064 us	4.317	330
2.6.26.8RT	10.998 us	28150.406 us	4.246	334
2.6.27Xenomai	0.947 us	6.828 us	0.373	0

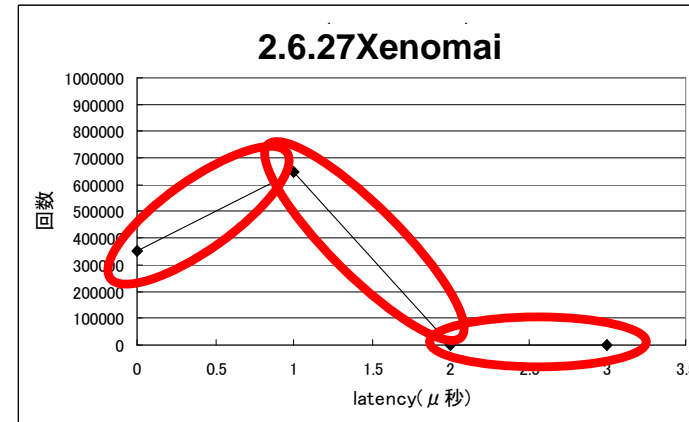
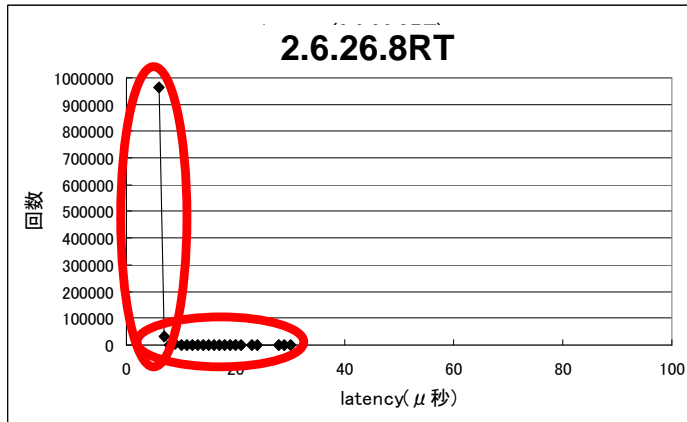
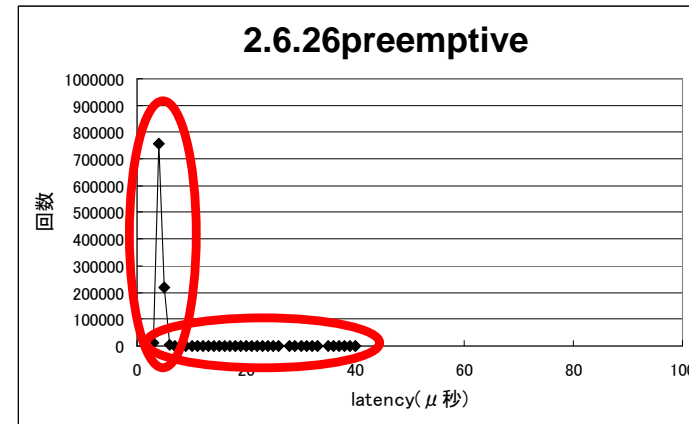
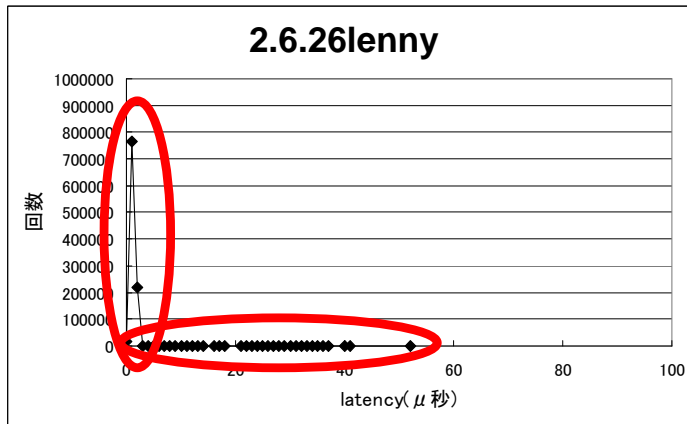
測定結果まとめ(高負荷)

- **2.6.26lenny**
 - 基本的に約500 μ 秒以下のレイテンシ
 - 全周期において、最悪値として約30m秒程度のレイテンシが発生
- **2.6.26preemptive**
 - 2.6.26lennyと同等
- **2.6.26.8RT**
 - 基本的に約200～300 μ 秒以下のレイテンシ
 - 周期300 μ 秒以下において、最悪値として約30m秒程度のレイテンシが発生
 - 平均値では通常のカーネルより性能低下
- **2.6.27Xenomai**
 - 最大でも十数 μ 秒のレイテンシ



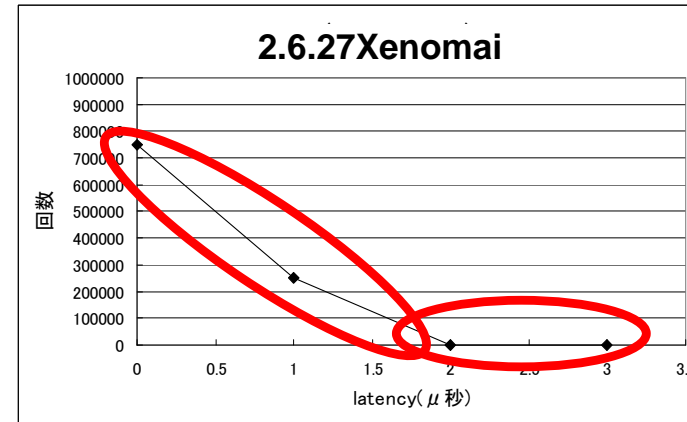
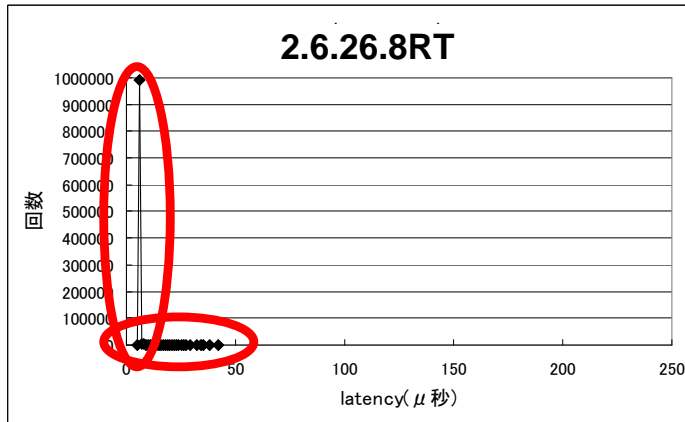
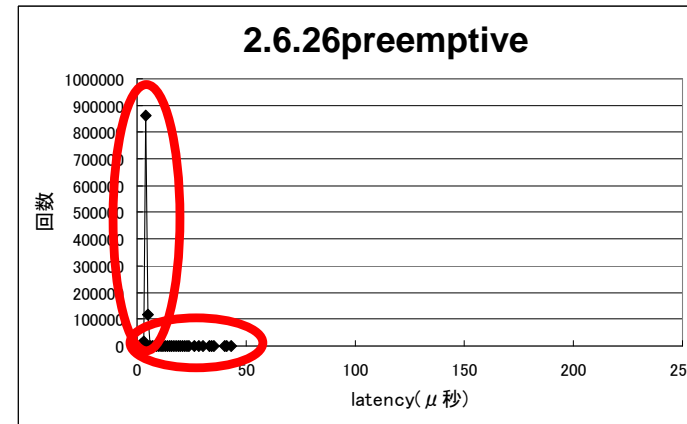
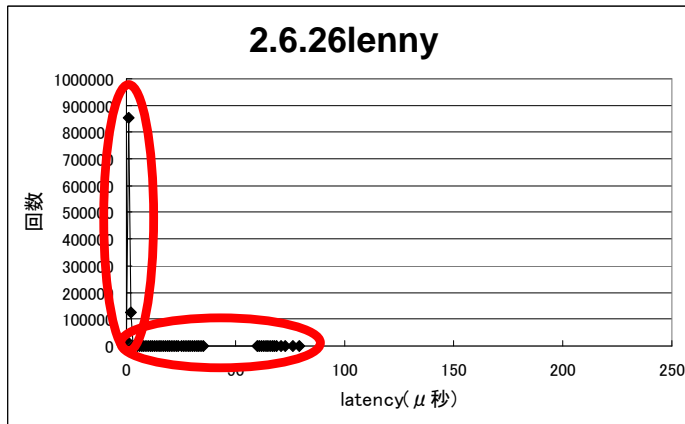
同様の測定を負荷なしで実施

測定結果(周期1000us/低負荷)



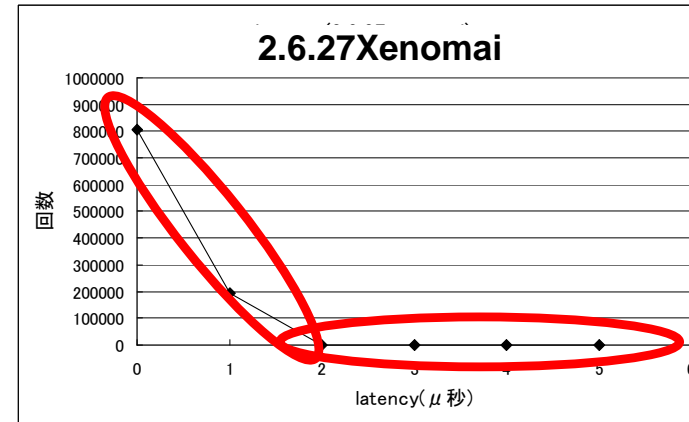
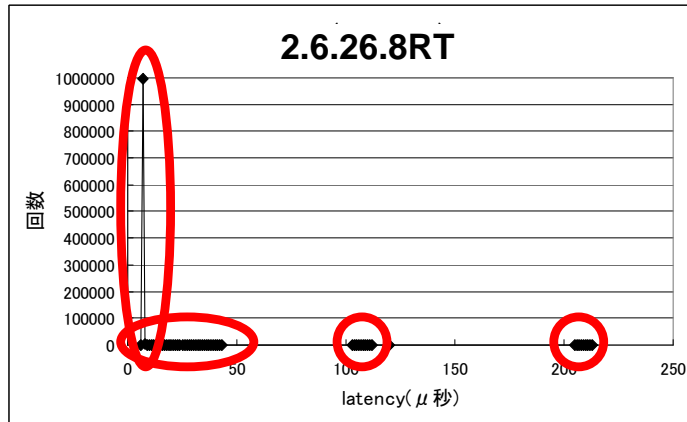
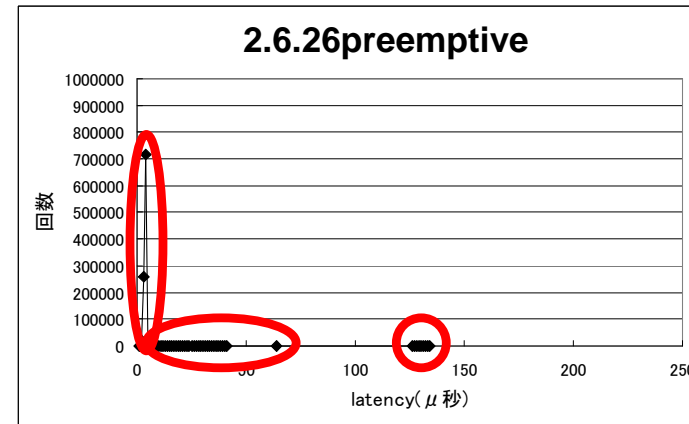
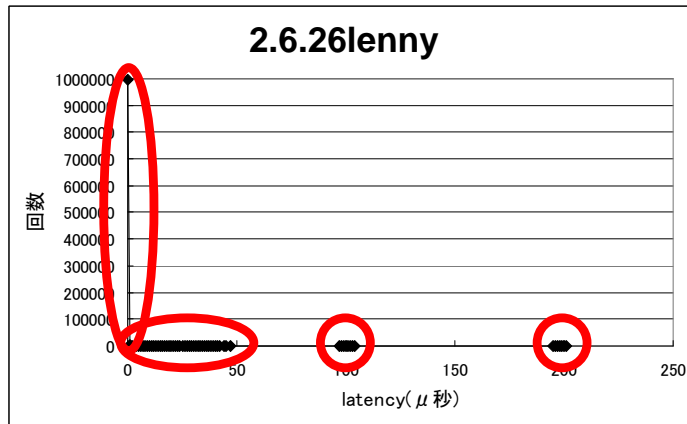
	平均レイテンシ	最大レイテンシ	標準偏差	周期を超えた回数
2.6.26lenny	1.77 us	52.753 us	0.633	0
2.6.26preemptive	4.695 us	40.883 us	0.657	0
2.6.26.8RT	6.817 us	30.381 us	0.313	0
2.6.27Xenomai	1.038 us	3.420 us	0.478	0

測定結果(周期500us/低負荷)



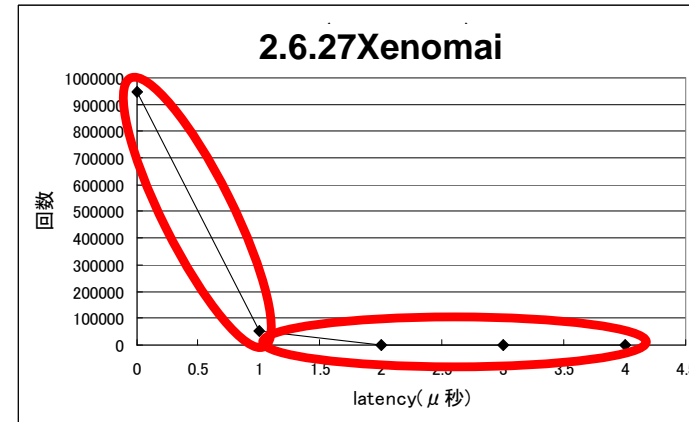
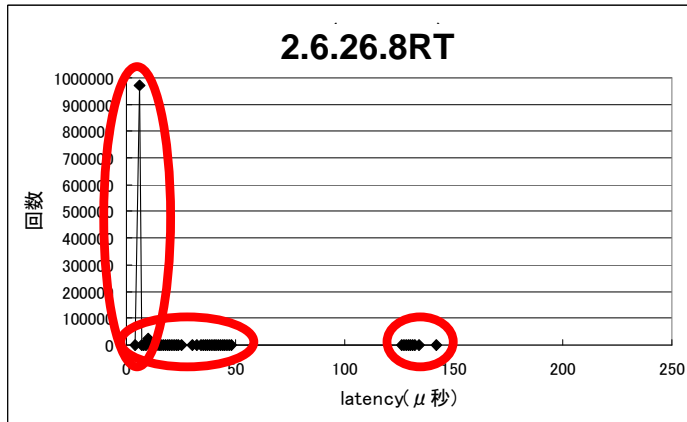
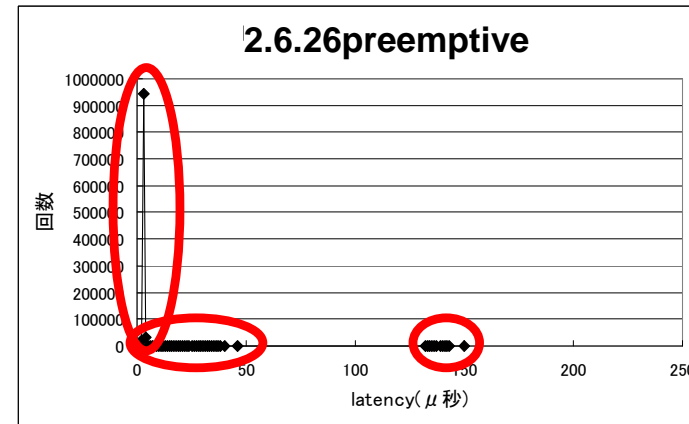
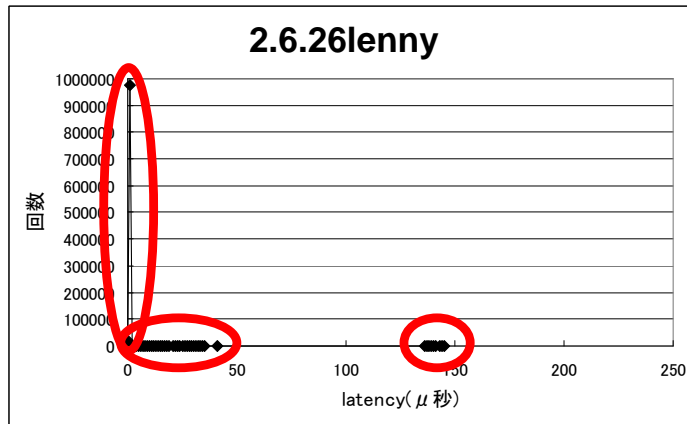
	平均レイテンシ	最大レイテンシ	標準偏差	周期を超えた回数
2.6.26lenny	1.775 us	79.605 us	1.144	0
2.6.26preemptive	4.684 us	43.790 us	0.459	0
2.6.26.8RT	6.297 us	42.340 us	0.249	0
2.6.27Xenomai	0.968 us	3.861 us	0.434	0

測定結果(周期300us/低負荷)



	平均レイテンシ	最大レイテンシ	標準偏差	周期を超えた回数
2.6.26lenny	0.511 us	201.501 us	1.619	0
2.6.26preemptive	4.032 us	134.937 us	1.103	0
2.6.26.8RT	7.694 us	213.173 us	1.632	0
2.6.27Xenomai	0.969 us	5.759 us	0.397	0

測定結果(周期100us/低負荷)



	平均レイテンシ	最大レイテンシ	標準偏差	周期を超えた回数
2.6.26lenny	1.35	145.165	1.045	50
2.6.26preemptive	3.841 us	150.802 us	1.035	50
2.6.26.8RT	6.623 us	142.063 us	1.118	50
2.6.27Xenomai	0.933 us	4.431 us	0.223	0

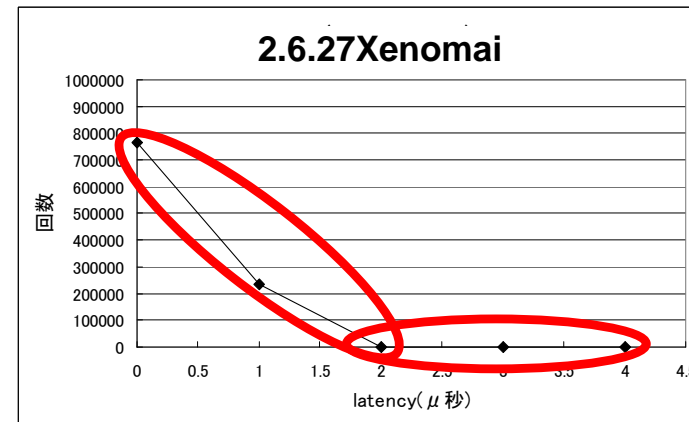
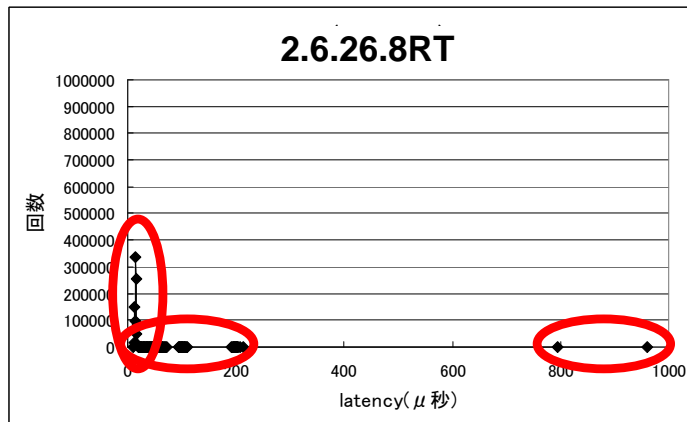
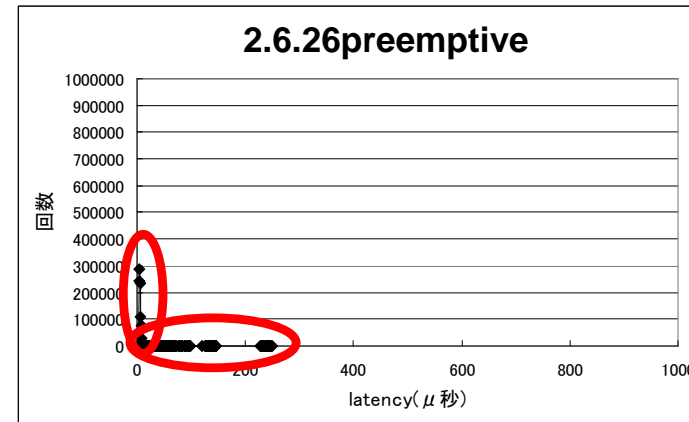
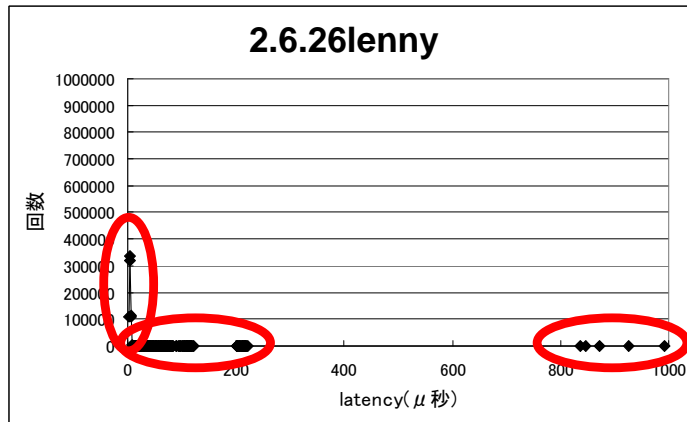
測定結果まとめ(低負荷)

- **2.6.26lenny**
 - 基本的に約200 μ 秒以下のレイテンシ
 - 周期300 μ 秒以上では、周期超過なし
 - 周期100 μ 秒では、周期超過あり
- **2.6.26preemptive**
 - 2.6.26lennyと同等
- **2.6.26.8RT**
 - 2.6.26lennyと同等
- **2.6.27Xenomai**
 - 最大でも数 μ 秒のレイテンシ



周期超過の境界300 μ 周期で
負荷率を約50%として測定

測定結果(周期300us/負荷率約50%)



	平均レイテンシ	最大レイテンシ	標準偏差	周期を超えた回数
2.6.26lenny	4.279 us	1006.152 us	3.463	20
2.6.26preemptive	5.237 us	28143.384 us	4.776	93
2.6.26.8RT	14.760 us	960.858 us	2.452	5
2.6.27Xenomai	0.967 us	4.191 us	0.426	0

測定結果まとめ(負荷率約50%)

• 2.6.26lenny

- 基本的に約200~300 μ 秒以下のレイテンシ
- 最悪値として約1000 μ 秒程度のレイテンシが発生
- 周期超過20回

• 2.6.26preemptive

- 基本的なレイテンシは2.6.26lennyと同様
- 最悪値として約30m秒程度のレイテンシが発生
- 周期超過93回

2.6.26.8RT

- 基本的なレイテンシは2.6.26lennyと同様
- 最悪値として約960 μ 秒程度のレイテンシが発生
- 周期超過5回

• 2.6.27Xenomai

- 最大でも数 μ 秒のレイテンシ

結果とまとめ

<Linuxでの周期実行レイテンシ>

- 通常のコアネル
 - 低負荷な状態では、最大約200 μ 秒程度のレイテンシ
 - 高負荷な状態では、最大約30m秒程度のレイテンシ
- コアネルプリエンプティブコアネル
 - 通常のコアネルよりも多少の性能低下
- RTパッチの適用コアネル
 - 低負荷な状態では、通常のコアネルと同等
 - 高負荷な状態では、
 - 500 μ 秒以上の周期で最大約200~300 μ 秒程度のレイテンシ
 - 300 μ 秒以下の周期で最大約30m秒程度のレイテンシ
 - 約300 μ 秒周期が性能の境界(と予測される)
 - 平均値では通常のコアネルより性能低下
- Xenomai
 - 十数 μ 秒レベルの高精度なハードリアルタイムをサポート可能
 - XenomaiリアルタイムAPIの利用が必要

<Linuxでの周期実行レイテンシ>

- 通常のコアネル
 - 低負荷な状態では、最大約200 μ 秒程度のレイテンシ
 - 高負荷な状態では、最大約30m秒程度のレイテンシ
- コアネルプリエンティブコアネル

実システムへの適用時には
それぞれの環境でも評価が必要

- 300 μ 秒以下の周期で最大約30m秒程度のレイテンシ
- 約300 μ 秒周期が性能の境界(と予測される)
- 平均値では通常のコアネルより性能低下
- Xenomai
 - 十数 μ 秒レベルの高精度なハードリアルタイムをサポート可能
 - XenomaiリアルタイムAPIの利用が必要

TOSHIBA

Leading Innovation >>>