IoTにおけるサイバーセキュリティの現状と今後

吉岡　克成

横浜国立大学
大学院環境情報研究院/先端科学高等研究院　准教授

NICTサイバーセキュリティシンポジウム2017

2016年1月～6月の6ヶ月で横浜国大に攻撃をしてきたマルウェア感染IoT機器

約60万台‡

‡IPアドレスによる区別

500種類以上†

† WebおよびTelnetの応答による判断

デバイスはWebおよびTelnetの応答から判断しています.

感染機器の種別

- 監視カメラ等
  - IP カメラ
  - デジタルビデオレコーダ
- ネットワーク機器
  - ルータ・ゲートウェイ
  - モデム、ブリッジ
  - 無線ルータ
  - ネットワークストレージ
  - セキュリティアプライアンス
- 電話関連機器
  - VoIPゲートウェイ
  - IP電話
  - GSMルータ
  - アナログ電話アダプタ
- インフラ
  - 駐車管理システム
  - LEDディスプレイ制御システム
- 制御システム
  - ソリッドステートレコーダ
  - インターネット接続モジュール
  - センサ監視装置
  - ビル制御システム
- 家庭・個人向け
  - Webカメラ、ビデオレコーダ
  - ホームオートメーションGW
  - 太陽光発電管理システム
  - 電力需要監視システム
- 放送関連機器
  - 映像配信システム
  - デジタル音声レコーダ
  - ビデオエンコーダ/デコーダ
  - セットトップボックス・アンテナ
- その他
  - ヒートポンプ
  - 火災報知システム
  - ディスク型記憶装置
  - 医療機器(MRI)
  - 指紋スキャナ

デバイスはWebおよびTelnetの応答から判断しています.

デバイス大量感染の元凶は…

Telnet

Telnetとは

1983年にRFC 854で規定された通信規約。

IPネットワークにおいて、遠隔地にあるサーバを端末から操作できるようにする仮想端末ソフトウェア(プログラム)、またはそれを可能にするプロトコルのことを指す。(省略)

現在では、認証も含めすべての通信を暗号化せずに平文のまま送信するというTelnetプロトコルの仕様はセキュリティ上問題とされ、Telnetによるリモートログインを受け付けているサーバは少なく、リモート通信方法としての利用は推奨できない。

https://ja.wikipedia.org/wiki/Telnet

多くの機器で動いています

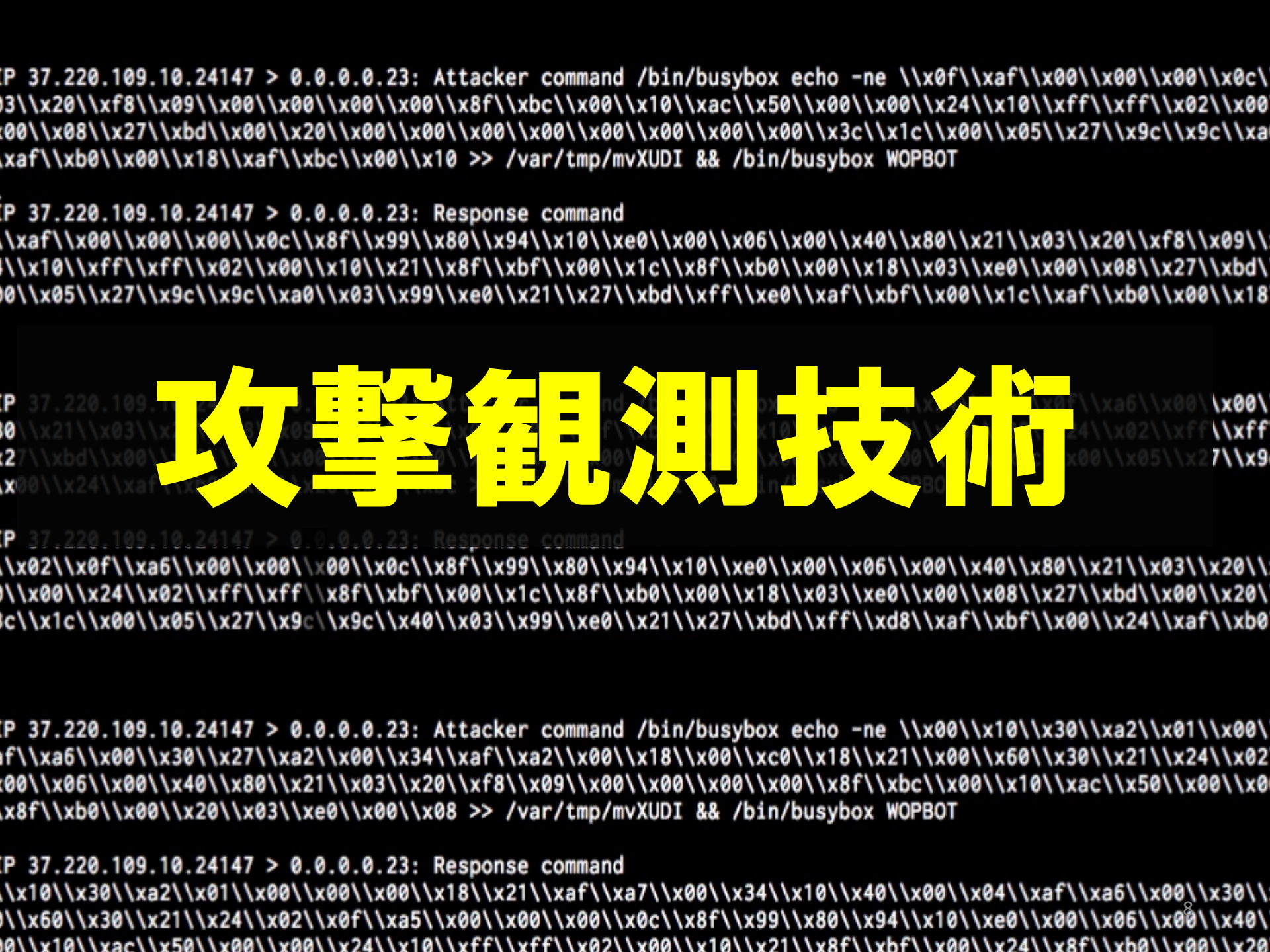
しかも多くは
デフォルト/弱いパスワードで

```
[shogo@www9058up ~]$ telnet x.x.243.13
Trying x.x.243.13...
Connected to x.x.243.13.
Escape character is '^]'.

[redacted]i.3.0.dm800s
[redacted]e.login: root
Password:12345
```

リモートログイン成功

```
BusyBox v1.1.2 (2007.05.09-01:19+0000) Built-
in shell (ash)
Enter 'help' for a list of built-in commands.
```


P 37.220.109.10.24147 > 0.0.0.0.23: Attacker command /bin/busybox echo -ne \\x0f\\xaf\\x00\\x00\\x00\\x0c\
03\\x20\\xf8\\x09\\x00\\x00\\x00\\x00\\x8f\\xbc\\x00\\x10\\xac\\x50\\x00\\x00\\x24\\x10\\xff\\xff\\x02\\x00
x00\\x08\\x27\\xbd\\x00\\x20\\x00\\x00\\x00\\x00\\x00\\x00\\x00\\x00\\x3c\\x1c\\x00\\x05\\x27\\x9c\\x9c\\xa
xaf\\xb0\\x00\\x18\\xaf\\xbc\\x00\\x10 >> /var/tmp/mvXUDI && /bin/busybox WOPBOT
P 37.220.109.10.24147 > 0.0.0.0.23: Response command
\xaf\\x00\\x00\\x00\\x0c\\x8f\\x99\\x80\\x94\\x10\\xe0\\x00\\x06\\x00\\x40\\x80\\x21\\x03\\x20\\xf8\\x09\\
\\x10\\xff\\xff\\x02\\x00\\x10\\x21\\x8f\\xbf\\x00\\x1c\\x8f\\xb0\\x00\\x18\\x03\\xe0\\x00\\x08\\x27\\xbd\
0\\x05\\x27\\x9c\\x9c\\xa0\\x03\\x99\\xe0\\x21\\x27\\xbd\\xff\\xe0\\xaf\\xbf\\x00\\x1c\\xaf\\xb0\\x00\\x18
P 37.220.109.10.24147 > 0.0.0.0.23: Response command
\x02\\x0f\\xa6\\x00\\x00\\x00\\x0c\\x8f\\x99\\x80\\x94\\x10\\xe0\\x00\\x06\\x00\\x40\\x80\\x21\\x03\\x20\\
\\x00\\x24\\x02\\xff\\xff\\x8f\\xbf\\x00\\x1c\\x8f\\xb0\\x00\\x18\\x03\\xe0\\x00\\x08\\x27\\xbd\\x00\\x20\
c\\x1c\\x00\\x05\\x27\\x9c\\x9c\\x40\\x03\\x99\\xe0\\x21\\x27\\xbd\\xff\\xd8\\xaf\\xbf\\x00\\x24\\xaf\\xb0
P 37.220.109.10.24147 > 0.0.0.0.23: Attacker command /bin/busybox echo -ne \\x00\\x10\\x30\\xa2\\x01\\x00\
f\\xa6\\x00\\x30\\x27\\xa2\\x00\\x34\\xaf\\xa2\\x00\\x18\\x00\\xc0\\x18\\x21\\x00\\x60\\x30\\x21\\x24\\x02
00\\x06\\x00\\x40\\x80\\x21\\x03\\x20\\xf8\\x09\\x00\\x00\\x00\\x00\\x8f\\xbc\\x00\\x10\\xac\\x50\\x00\\x0
x8f\\xb0\\x00\\x20\\x03\\xe0\\x00\\x08 >> /var/tmp/mvXUDI && /bin/busybox WOPBOT
P 37.220.109.10.24147 > 0.0.0.0.23: Response command
\x10\\x30\\xa2\\x01\\x00\\x00\\x00\\x18\\x21\\xaf\\xa7\\x00\\x34\\x10\\x40\\x00\\x04\\xaf\\xa6\\x00\\x30\\
\\x60\\x30\\x21\\x24\\x02\\x0f\\xa5\\x00\\x00\\x00\\x0c\\x8f\\x99\\x80\\x94\\x10\\xe0\\x00\\x06\\x00\\x40\
0\\x10\\xac\\x50\\x00\\x00\\x24\\x10\\xff\\xff\\x02\\x00\\x10\\x21\\x8f\\xbf\\x00\\x24\\x8f\\xb0\\x00\\x20

攻撃観測技術

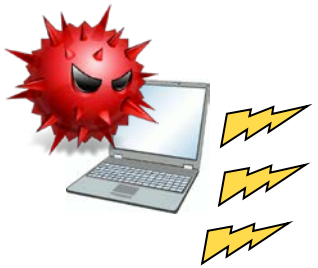
攻撃の観測：いくつかのアプローチ

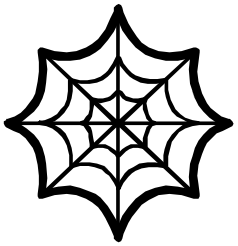
- **受動（passive）型：**
  観測用ネットワークで攻撃が来るのをまつ
  - ダークネットモニタリング
  - ハニーポット

- **能動（active）型：**
  インターネット上の攻撃ホスト情報・脆弱性等を自ら探索する
  - Web, Telnet, FTP等へのアクセスによる機器、システムの判定
  - バックドアポート等の確認

ダークネットによる攻撃の観測

ダークネット：パソコンや機器等のエンドホストが接続されていない未使用のIPアドレス帯





ダークネット

マルウェア（不正プログラム）に感染して外部に無作為に攻撃を行っているパソコン、デバイスからの攻撃の観測に有効

ダークネットへのTelnet攻撃の急増

TCP 宛先ポート別パケット数 Top 10

宛先ポート	パケット数	割合
23	2,699,639	45%
22	461,738	8%
[illegible]	[illegible]	6%
1433	208,460	3%
[illegible]	[illegible]	3%
[illegible]	[illegible]	3%
8080	145,657	2%
443	124,800	2%
9200	116,255	2%
25	94,901	2%

観測される攻撃パケットの約4～5割がTelnet狙い

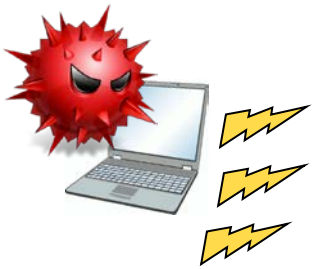
TCP 宛先ポート別パケット数 Top 10

宛先ポート	パケット数	割合
23	11,727,894	65%
1433	791,485	4%
22	559,059	3%
3389	247,547	1%
80	247,159	1%
8080	184,132	1%
443	147,434	1%
3306	128,382	1%
4028	116,029	1%
54628	78,378	0%

情報通信研究機構NICTERにおける過去10年間の観測結果（23/tcpのみ）

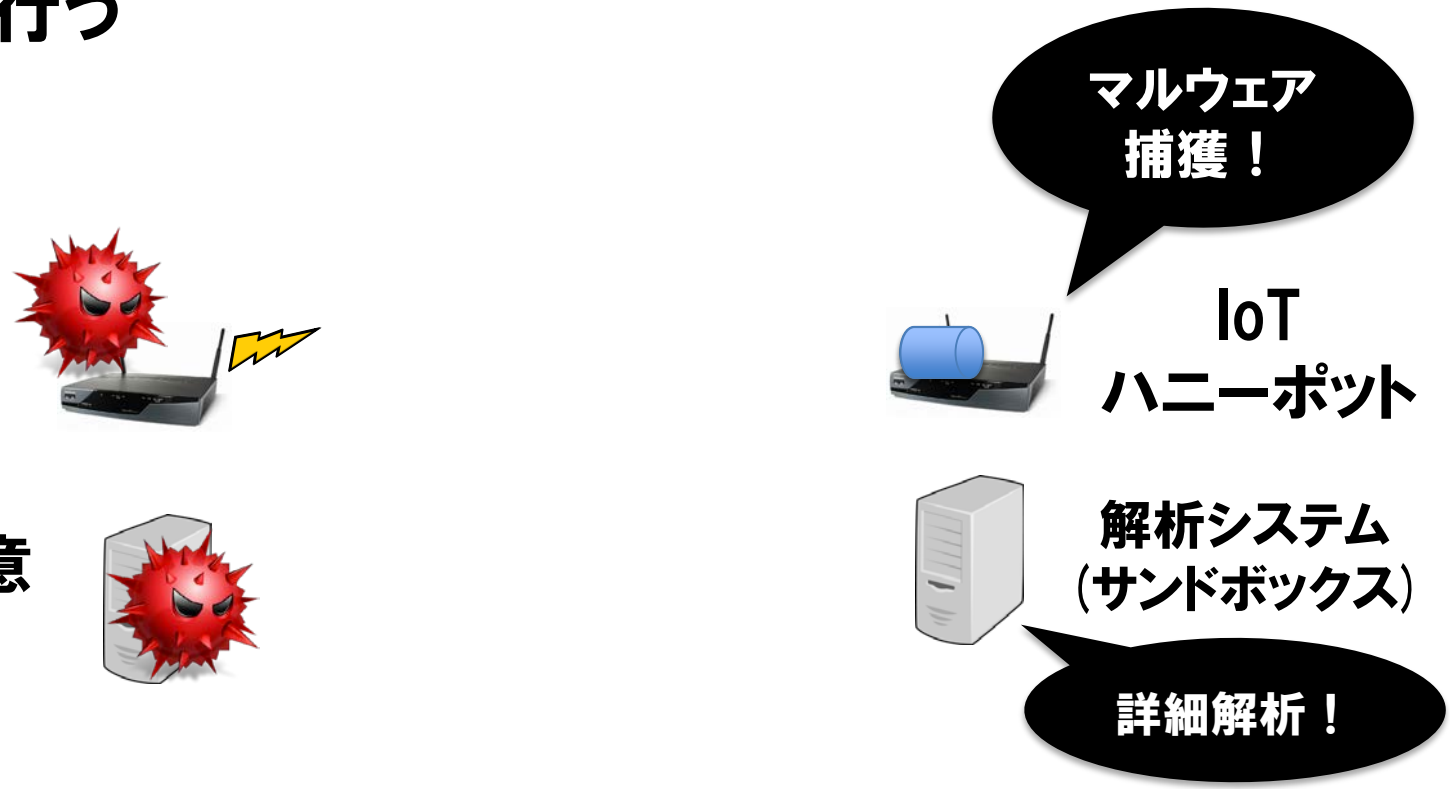
より詳細に攻撃を分析するために

ダークネットは、**大量のアドレスを広範囲に観測できる**反面、**攻撃の最初の通信（パケット）のみ観測**可能であるため、攻撃の詳細手順やマルウェア本体を分析するには**観測方法を工夫する必要がある**

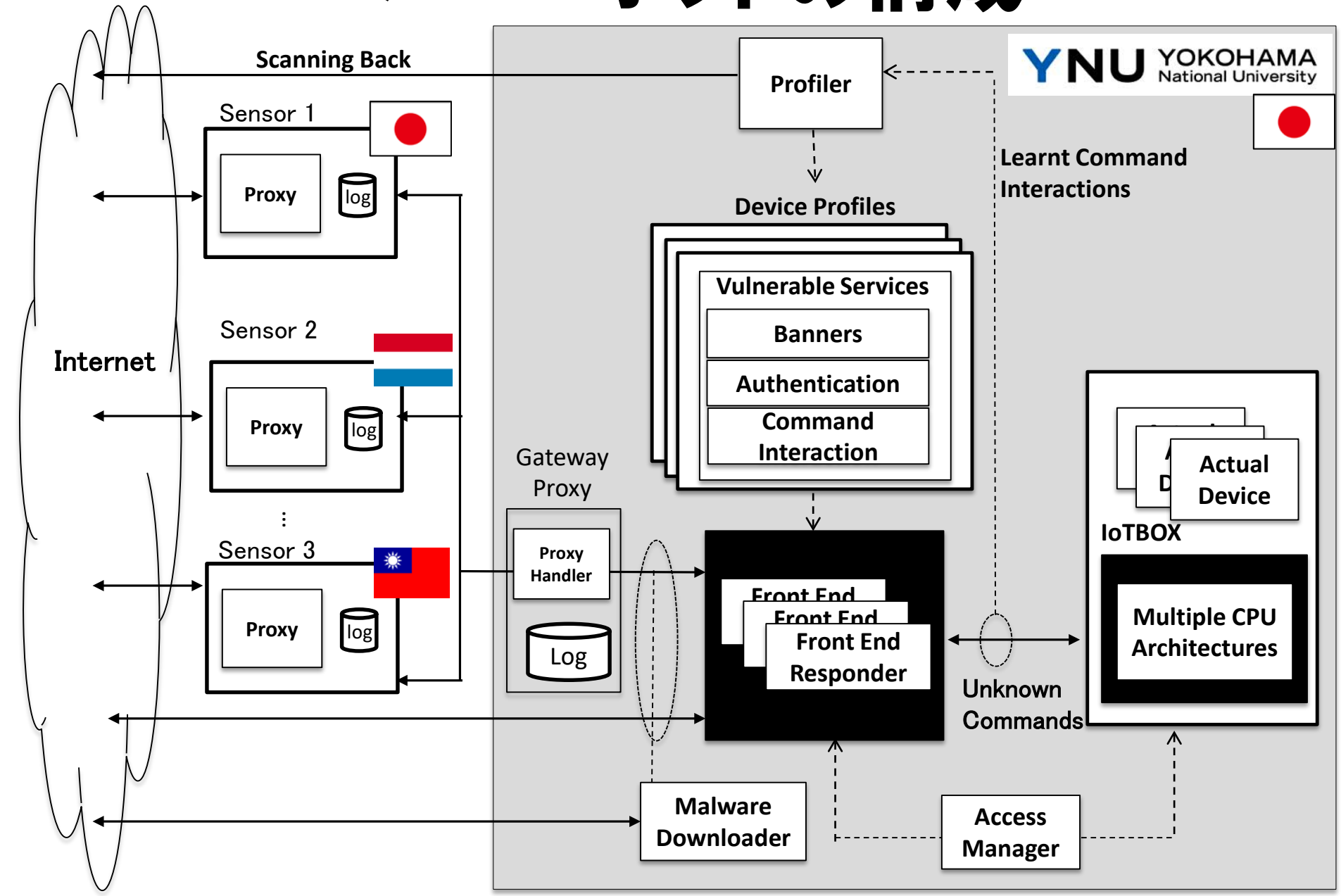


ハニーポットによる攻撃の観測と マルウェアの捕獲・詳細分析

脆弱な機器を模擬した囮システム（ハニーポット）により攻撃元と通信を行い、攻撃の観測・マルウェア捕獲し、詳細解析を行う

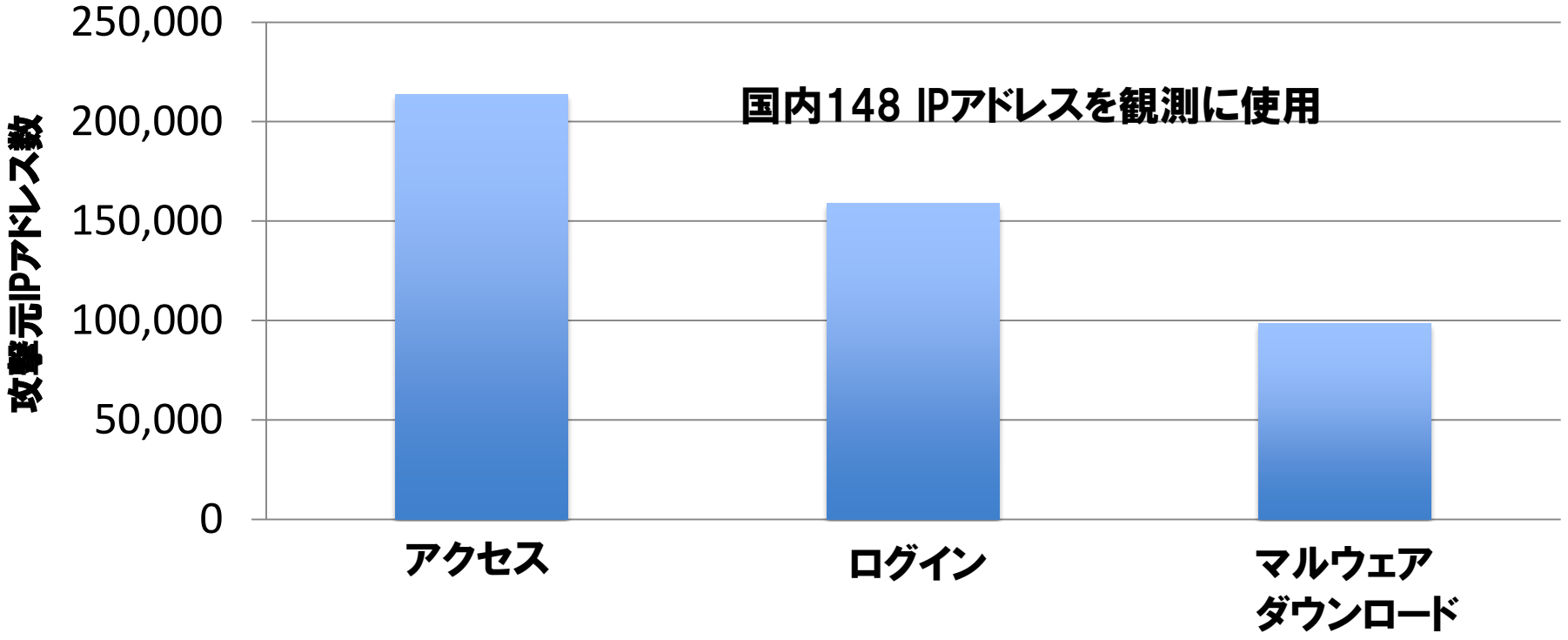


ハニーポットの構成


Scanning Back
Profiler
YNU YOKOHAMA National University
Sensor 1
Proxy
log
Learnt Command Interactions
Device Profiles
Vulnerable Services
Banners
Authentication
Command Interaction
Internet
Sensor 2
Proxy
log
Gateway Proxy
Actual Device
IoTBOX
Sensor 3
Proxy
log
Proxy Handler
Log
Front End
Front End
Front End Responder
Multiple CPU Architectures
Unknown Commands
Malware Downloader
Access Manager

観測結果（昨年）

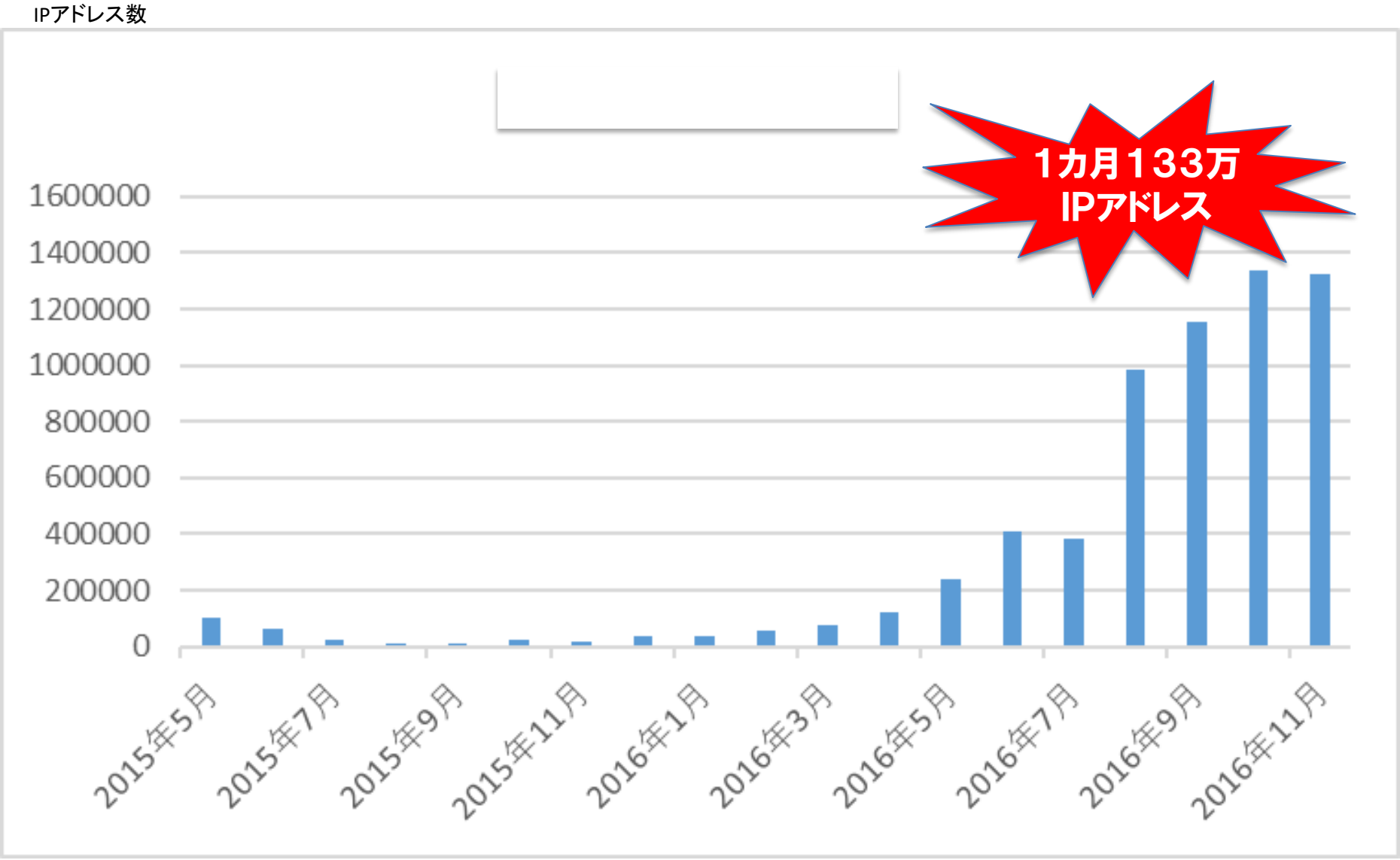
観測期間：2015/4/1～2015/7/31（122日）



約15万アドレスから不正ログインを検出し、90万回のマルウェアダウンロード試行を観測

11種類のCPUアーキテクチャ向けマルウェアを捕獲

今年4月以降感染機器数が急増

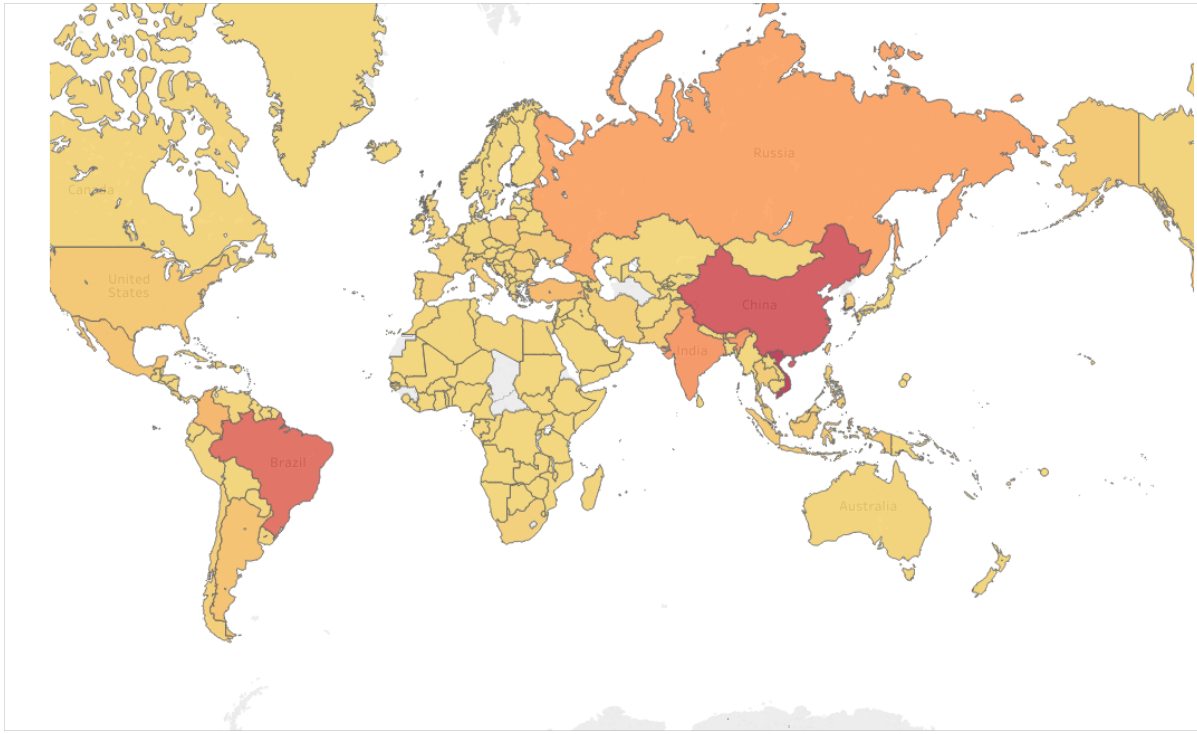


2016年

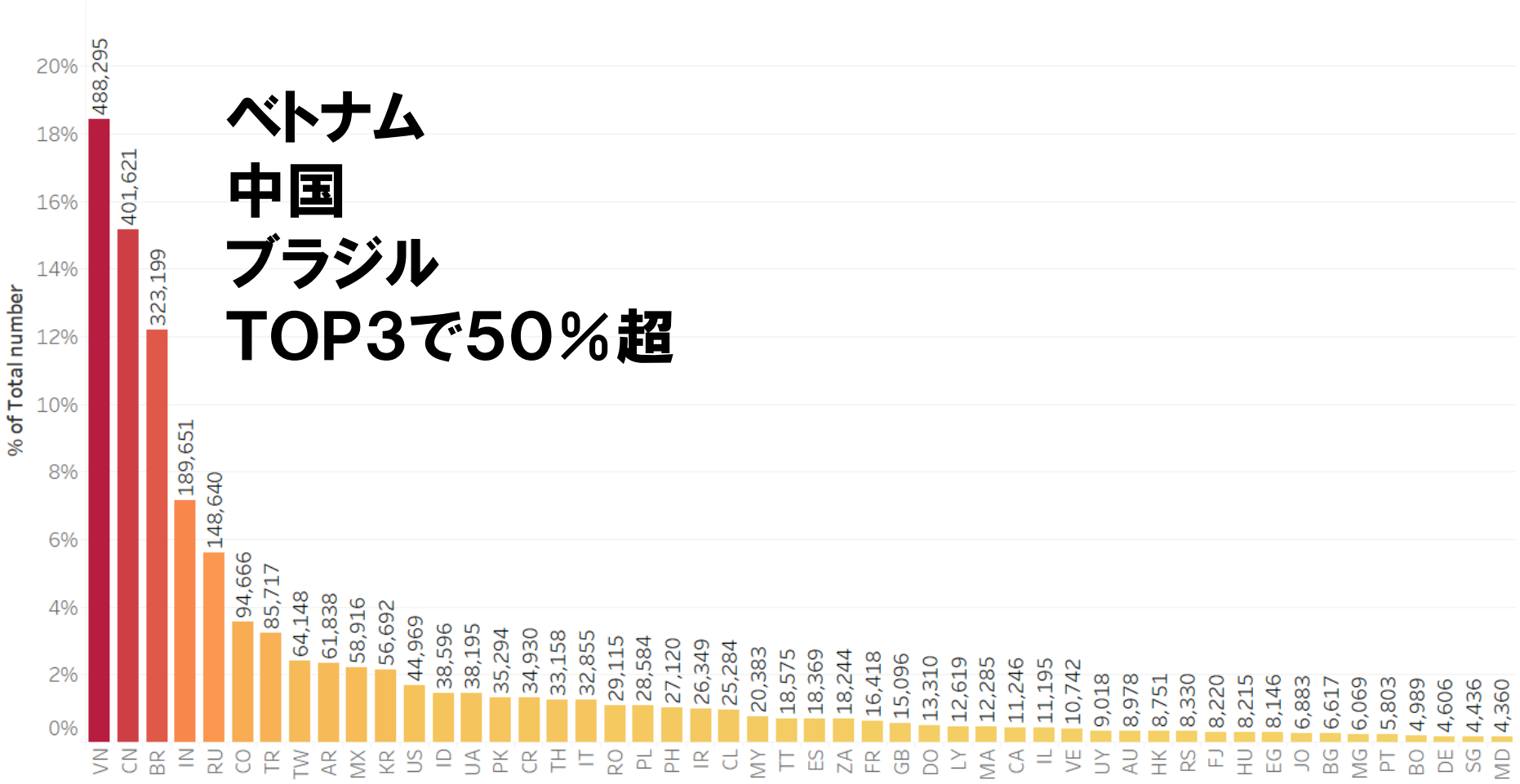
世界的に広がる感染

- **218か国**
  からの攻撃を観測

- 特に**アジアと南米**
  の感染が多い

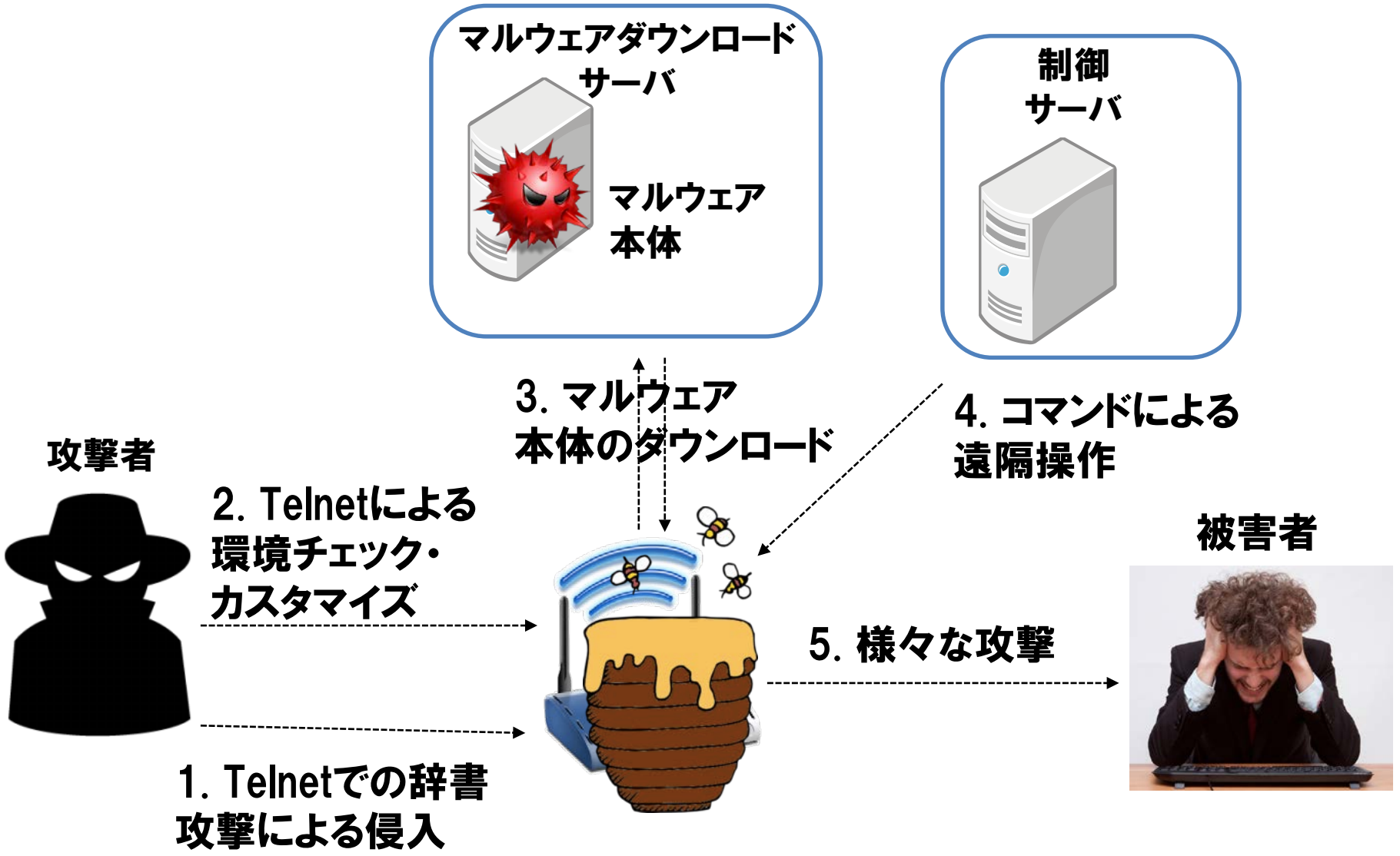


国別感染機器台数

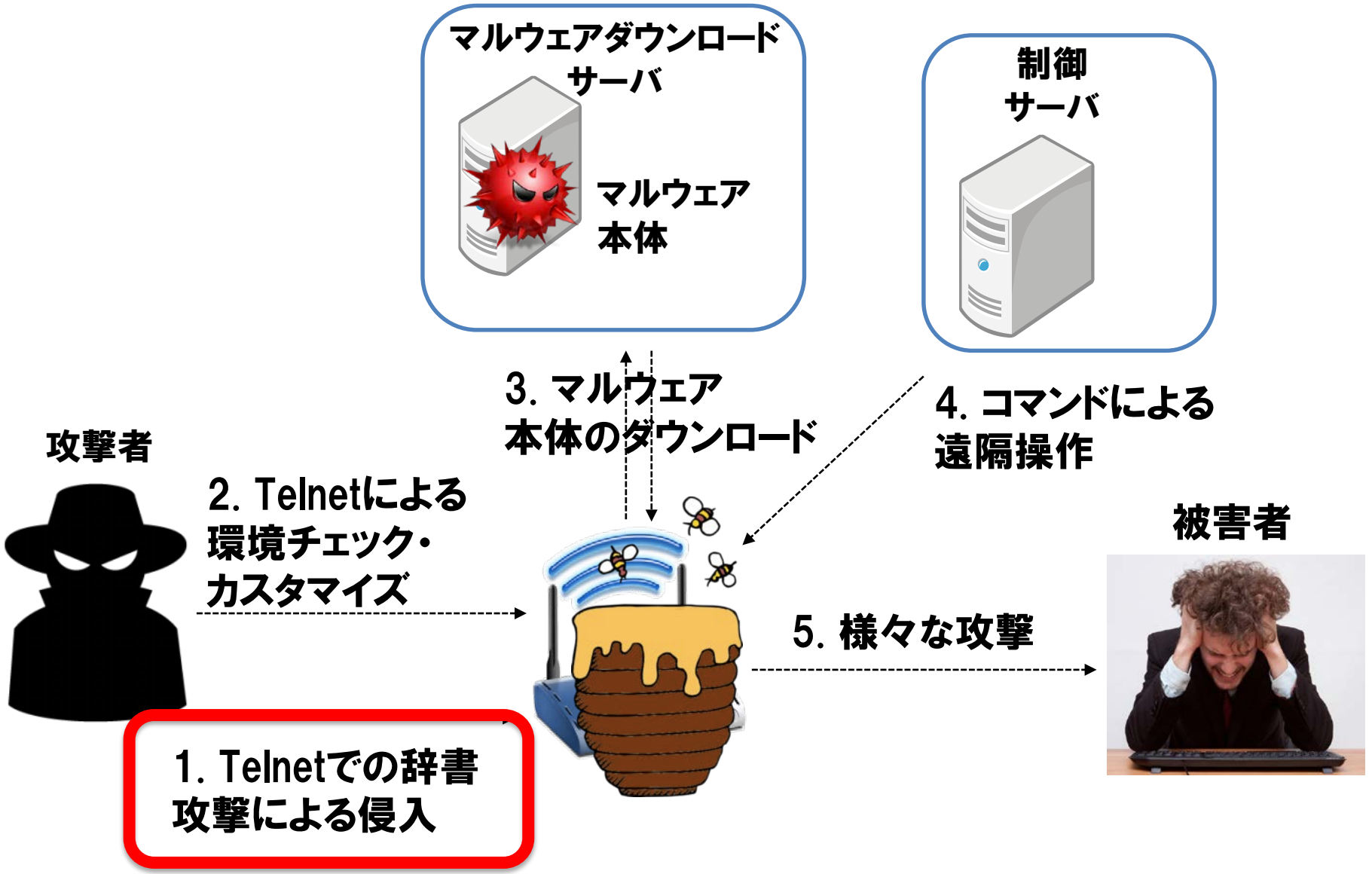


ベトナム
中国
ブラジル
TOP3で50%超

Telnetベースのマルウェア感染の流れ

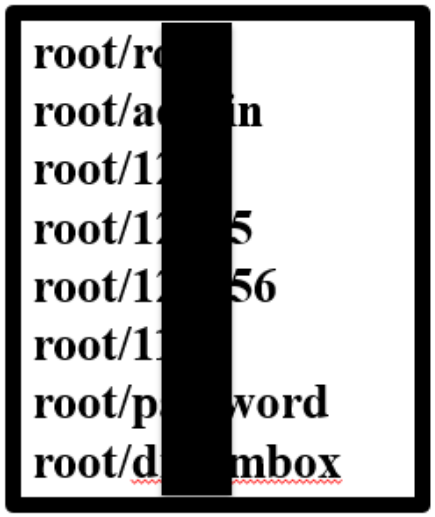


Telnetベースのマルウェア感染の流れ

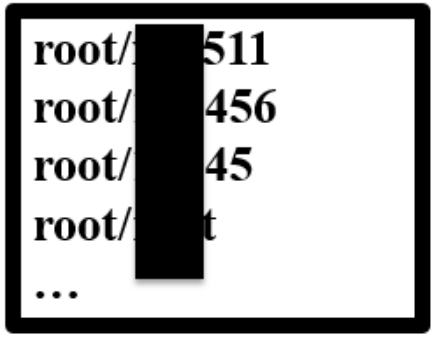


観測開始当初見られた辞書攻撃は6パターン

固定順序型攻撃パターン1

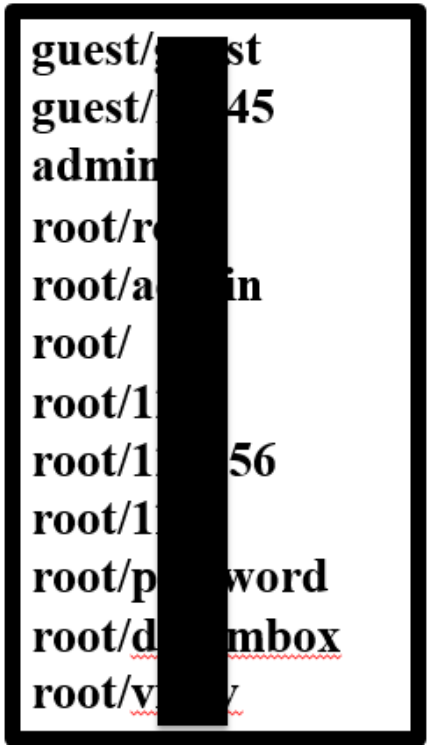


順序変更型攻撃パターン1

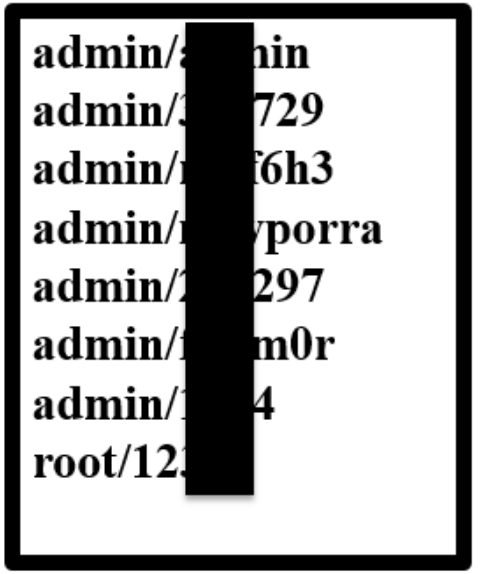


順序変更型攻撃パターン2

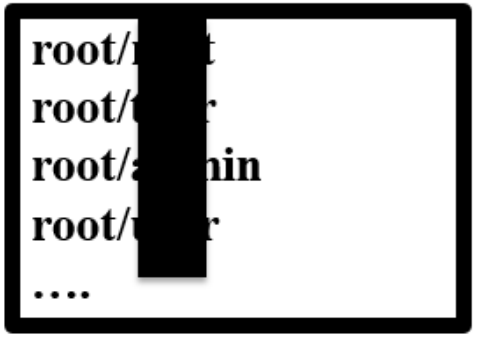
固定順序型攻撃パターン2



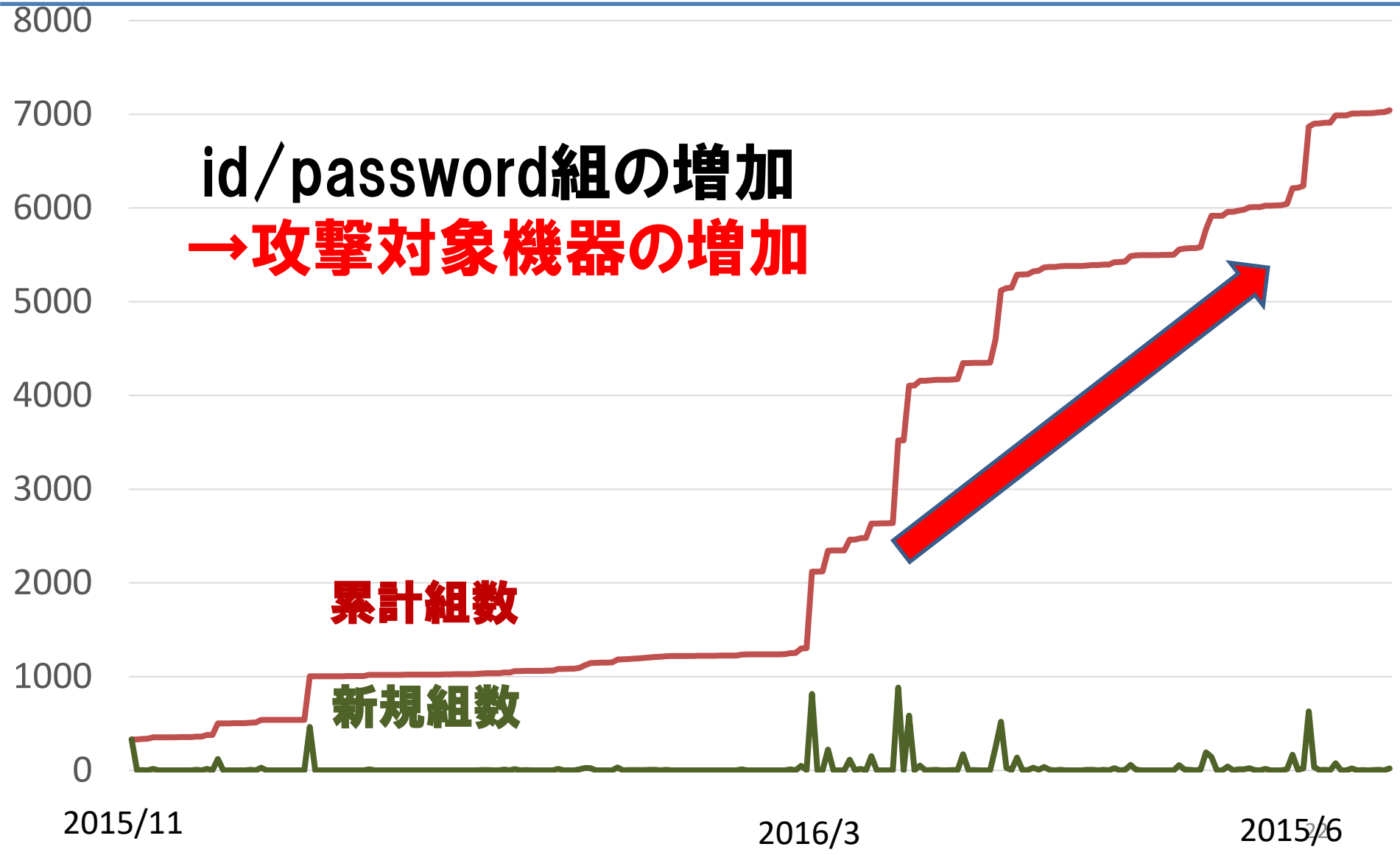
固定順序攻撃パターン3



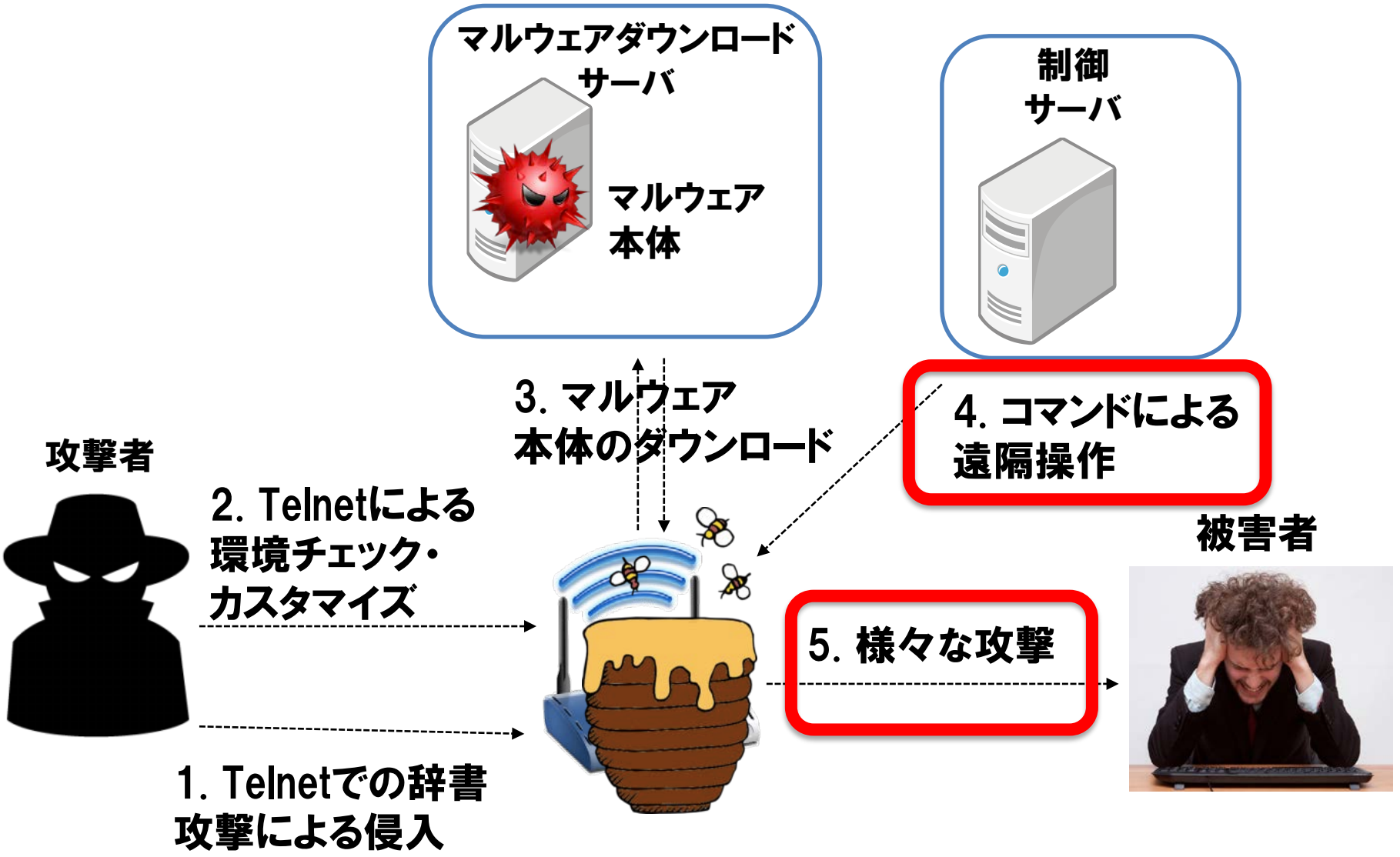
順序変更型攻撃パターン3



攻撃に利用されるid/password組の増加



Telnetベースのマルウェア感染の流れ



サービス妨害攻撃への加担

リソース枯渇

ISPのキャッシュ
DNSサーバ

9a3jk.cc.zmr666.com?
elirjk.cc.zmr666.com?
pujare.cc.zmr666.com?
oiu4an.cc.zmr666.com?

9a3jk.cc.zmr666.com?
elirjk.cc.zmr666.com?
pujare.cc.zmr666.com?
oiu4an.cc.zmr666.com?

応答が遅延

“zmr666.com”の
権威DNSサーバ

感染機器

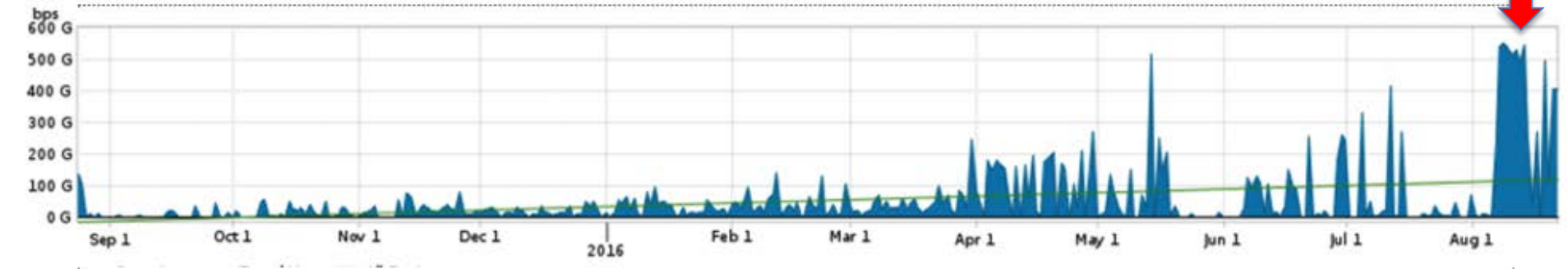
他の機器の探索・感染

同様のTelnetサービスが動作する機器を探索し感染を広める

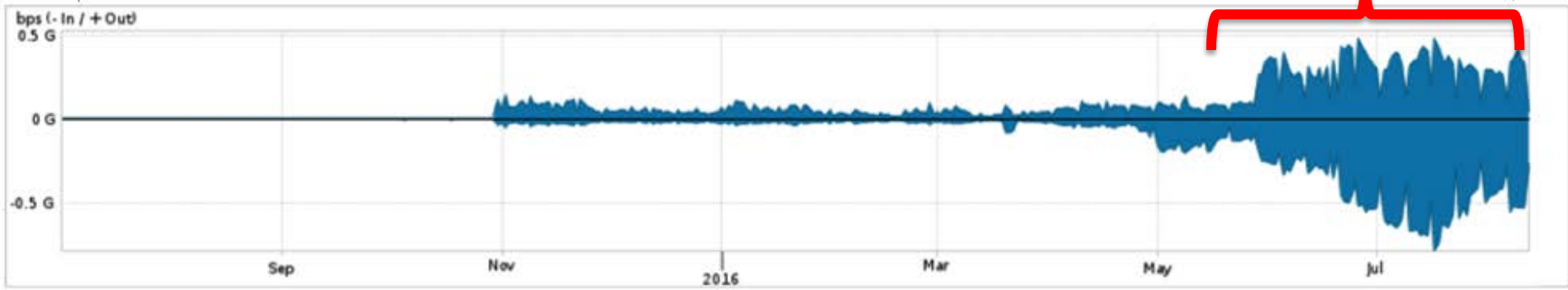
感染機器

Tokyo Olympics, what to expect

リオ五輪の時期に500Gbps規模の超大規模サービス妨害攻撃が頻発



Telnet通信の急増（感染機器の増加＝攻撃準備）

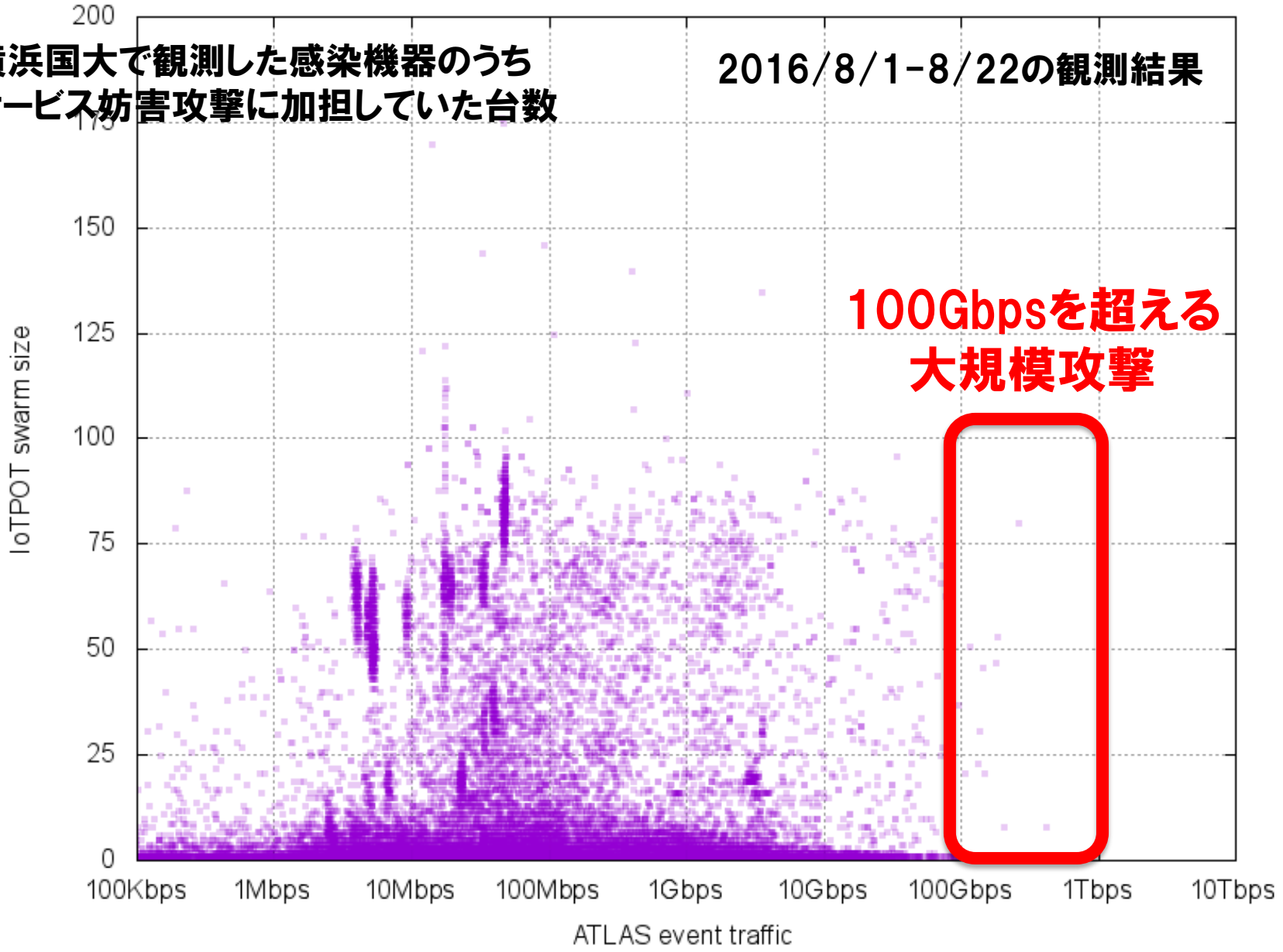


本データは米国Arbor Networks社から提供を受けたものです

ARBOR NETWORKS

横浜国大で観測した感染機器のうち
サービス妨害攻撃に加担していた台数

2016/8/1-8/22の観測結果



Arbor Networksが観測したサービス妨害攻撃の規模

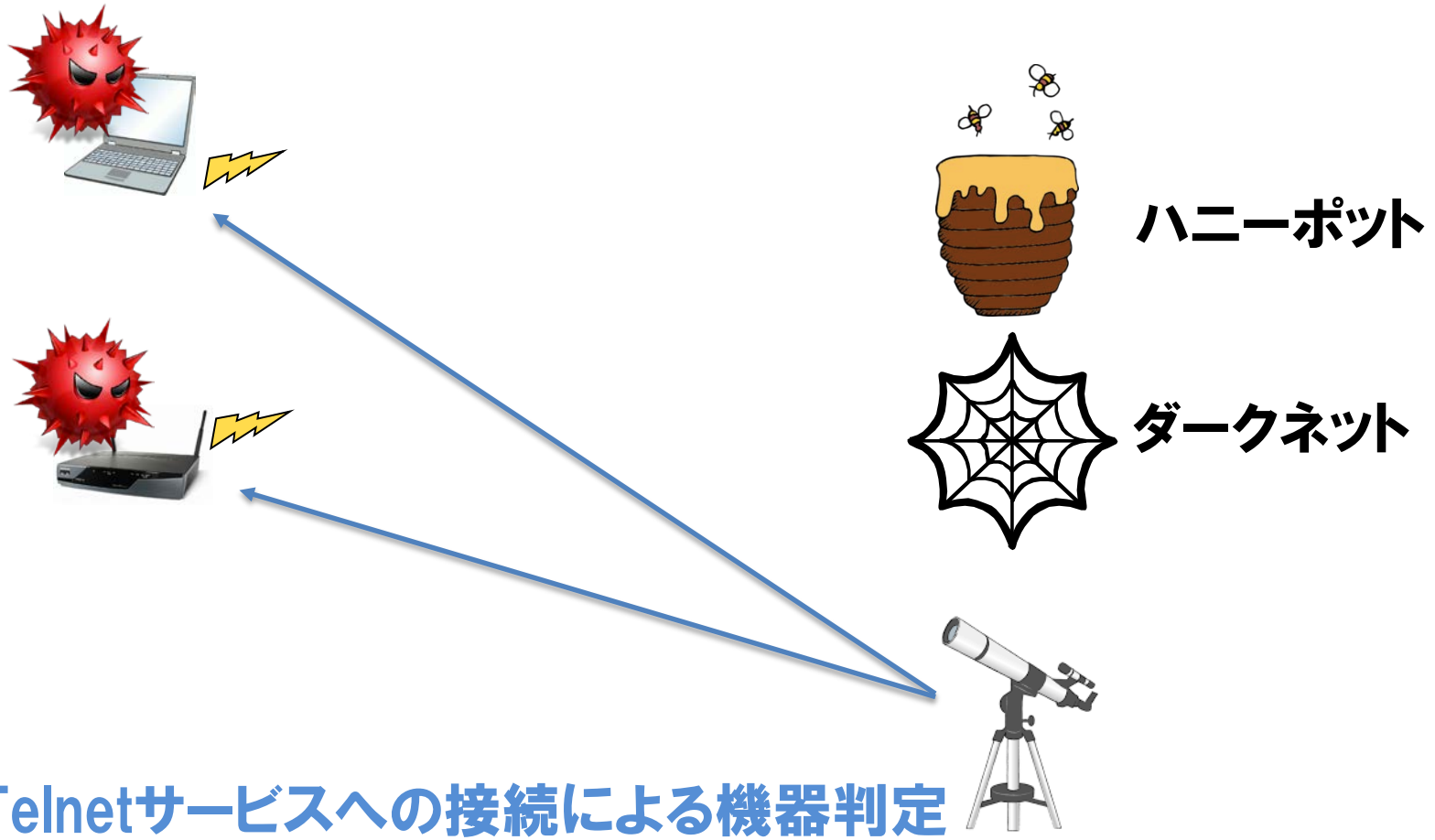
本データはArbor Networks社と横浜国大の産学連携活動の成果であり、
Arbor Networks ASERT Japanの分析結果です。

攻撃の観測:いくつかのアプローチ

- **受動 (passive) 型:**
  観測用ネットワークで攻撃が来るのをまつ
  - ダークネットモニタリング
  - ハニーポット

- **能動 (active) 型:**
  インターネット上の攻撃ホスト情報・脆弱性等を自ら探索する
  - Web, Telnet, FTP等へのアクセスによる機器、システムの判定
  - バックドアポート等の確認

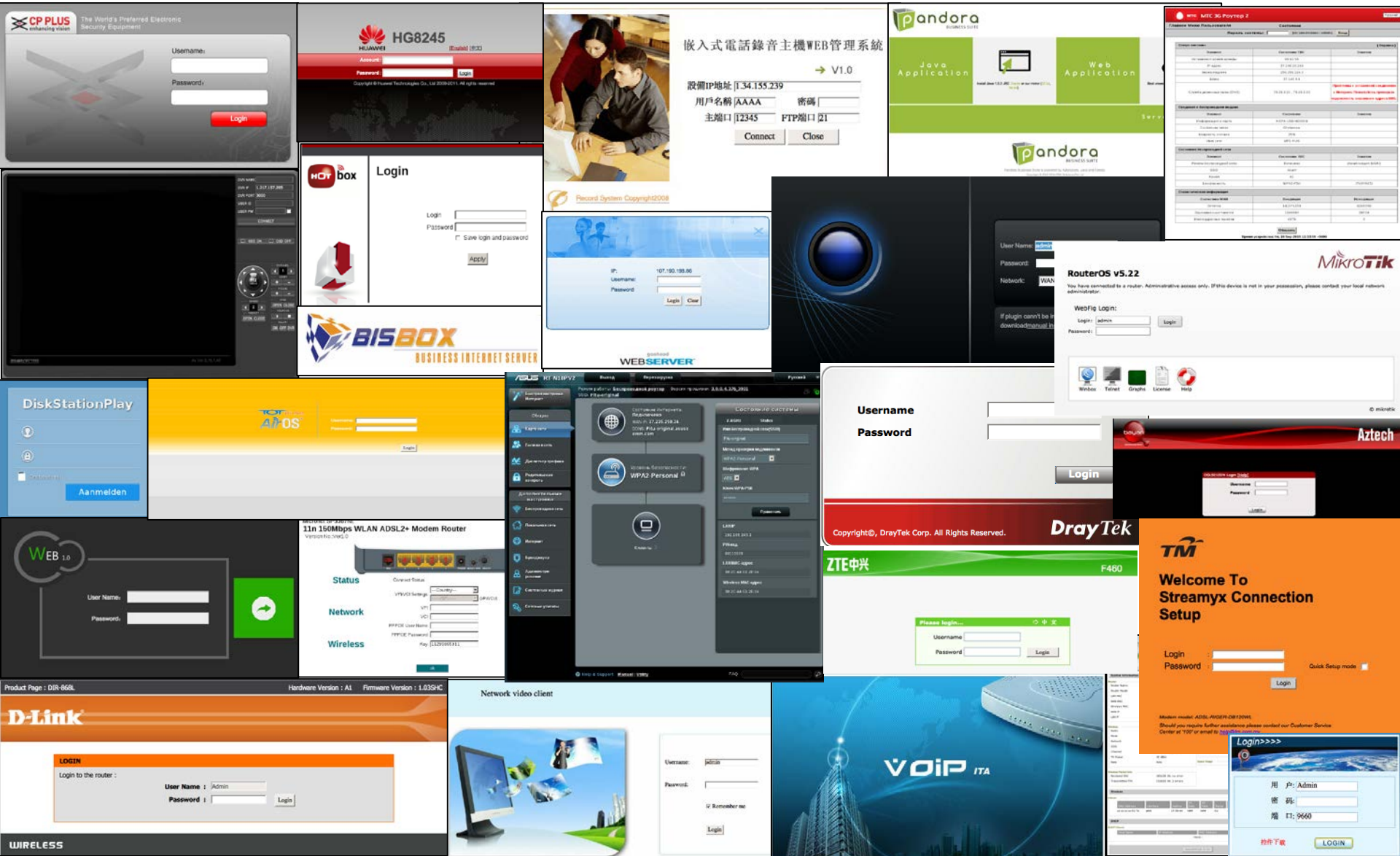
攻撃元機器の判定



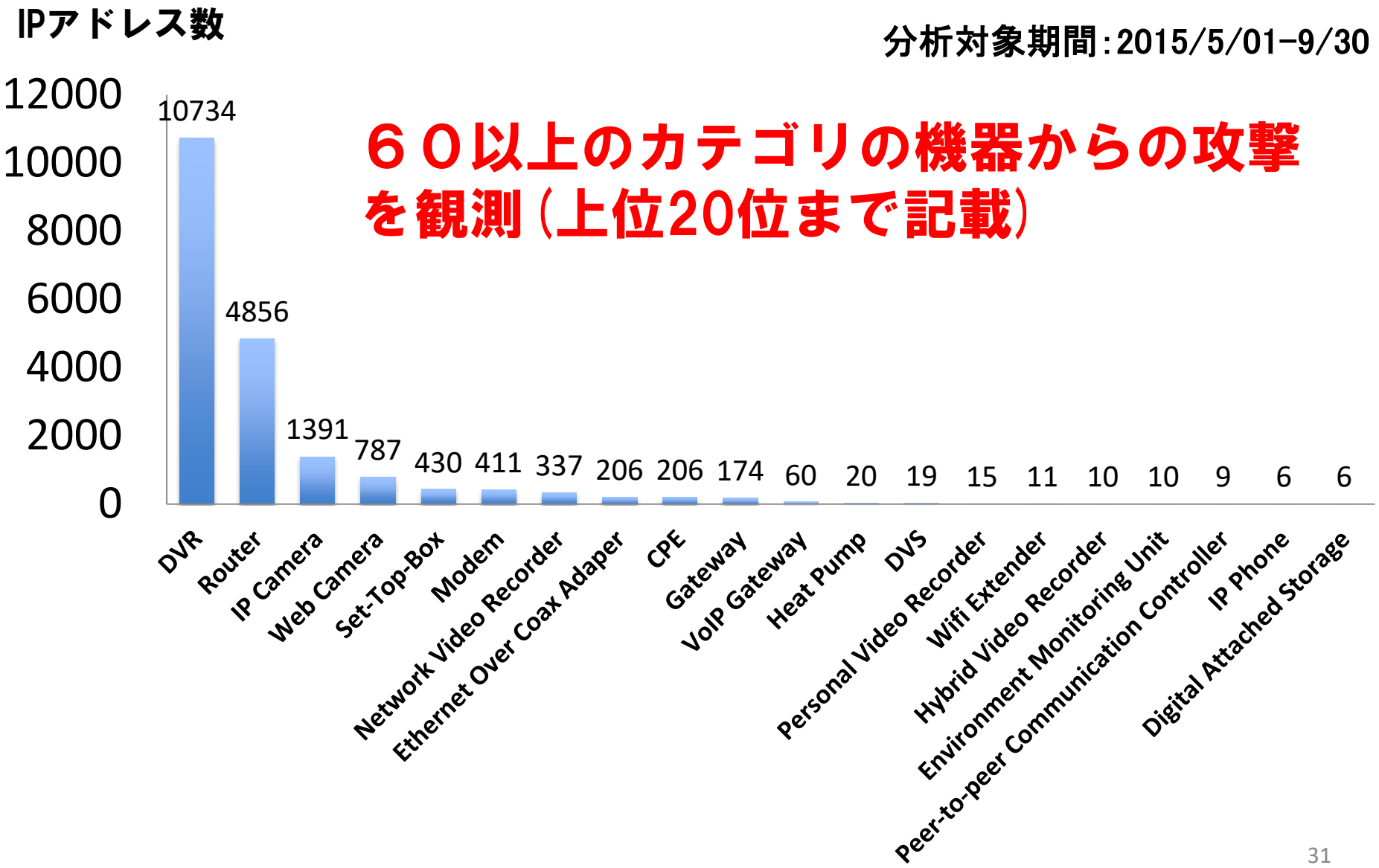
Web、Telnetサービスへの接続による機器判定

→IoT機器であることを確認

攻撃元(感染)機器のWebインターフェイスの例

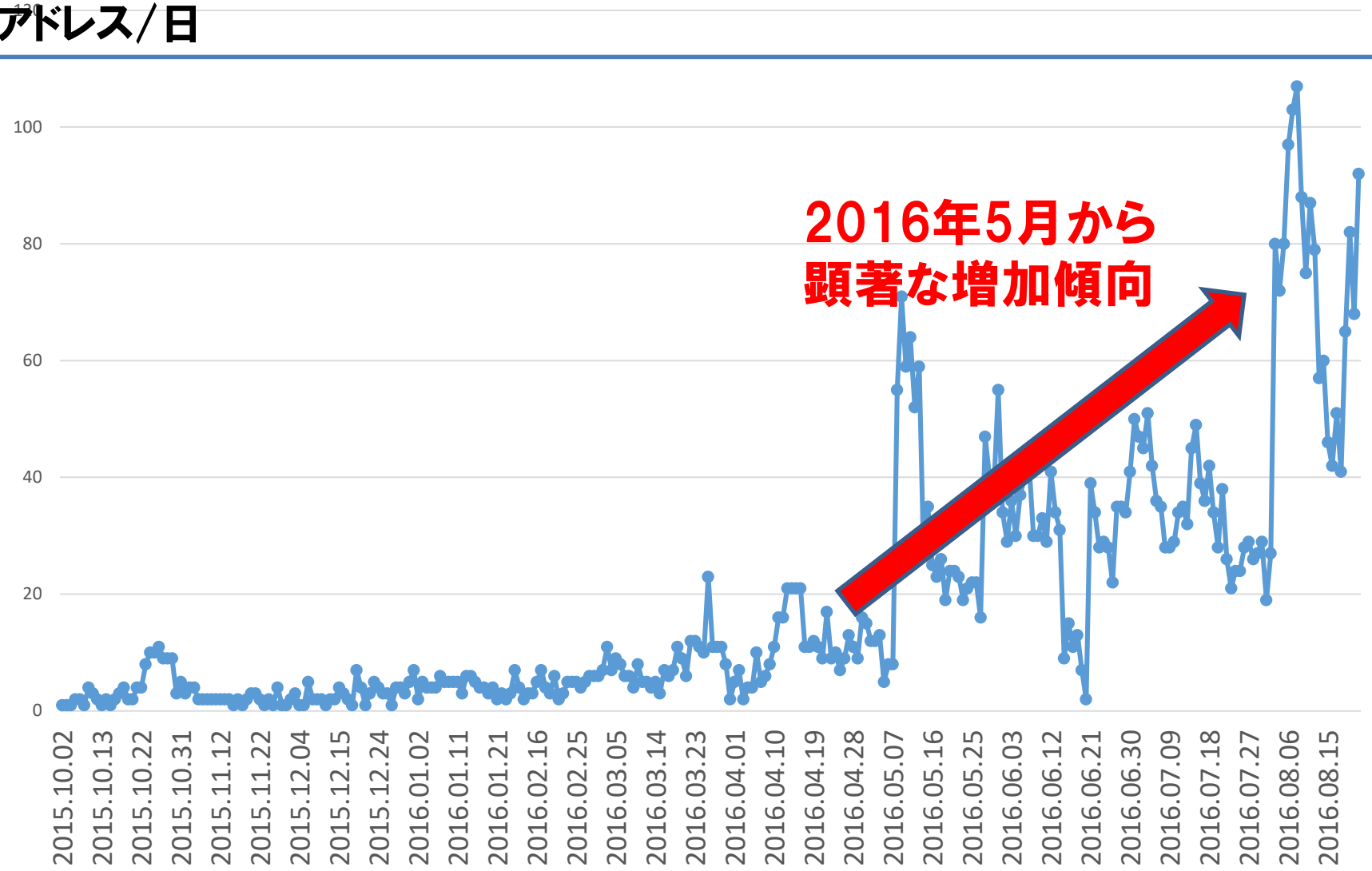


ハニーポットで観測された感染機器の種類



日本国内 感染機器台数（日ごとにカウント）

IPアドレス/日



ここまでのまとめ

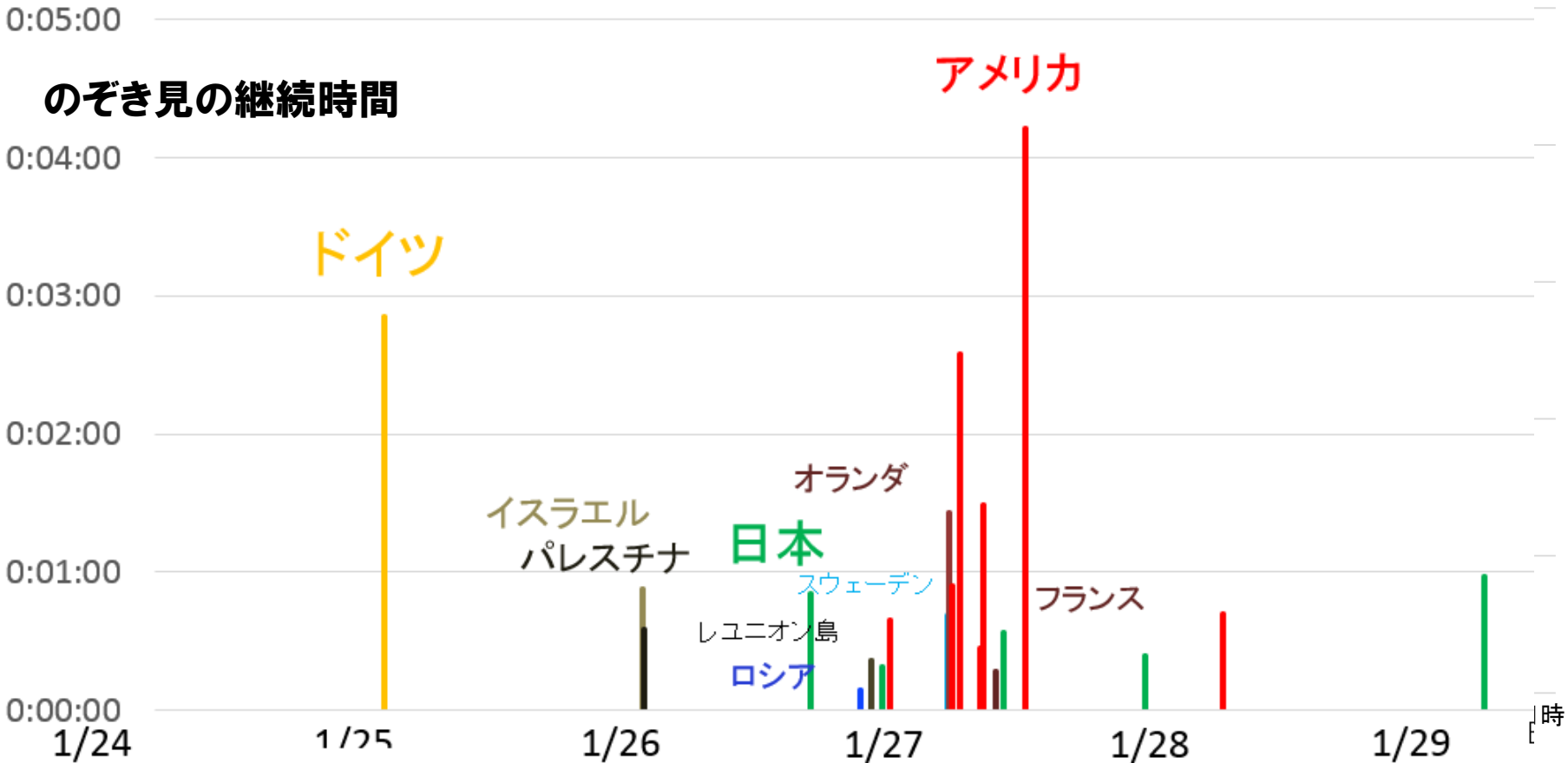
- IoT機器の大量マルウェア感染が深刻化
  - 感染機器数は増加（侵入に使用するid/passwordも急激に増加）
  - 国内の感染機器数も増加
  - 国内メーカの感染事例を複数確認
  - 大規模サービス妨害攻撃への加担が確認（600Gbps超の攻撃も）
  - ミシガン大学の大規模調査は、Telnet動作機器がさらに多く存在することを示唆

監視カメラ
“のぞき見”
の観測

おとりカメラの映像（大学サーバ室）

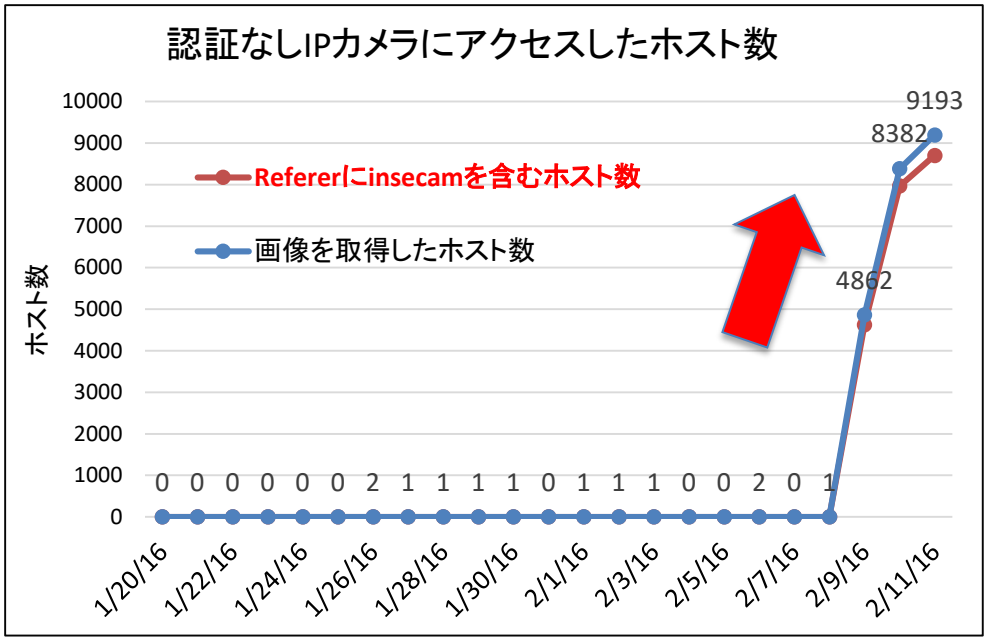
おとりカメラの“のぞき見”

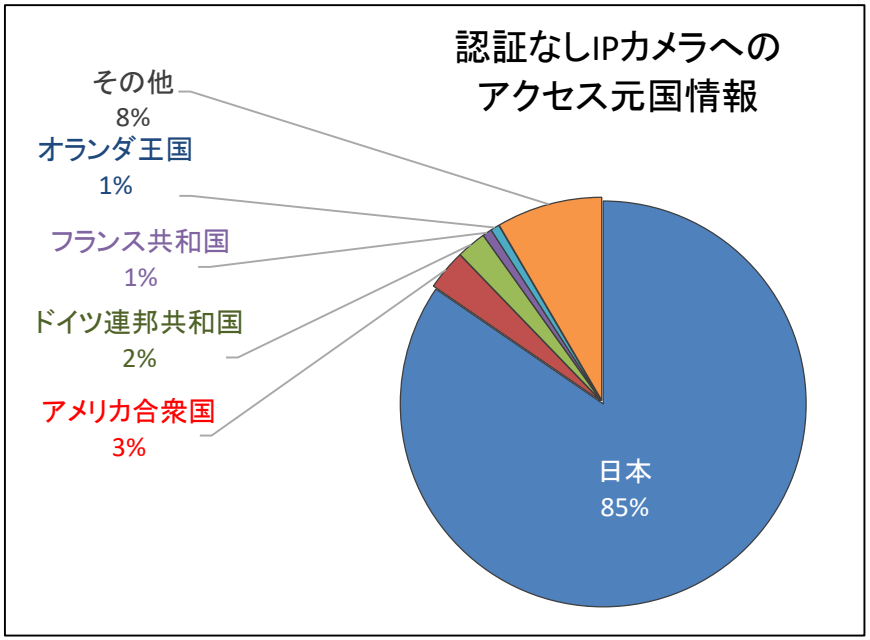
１)観測開始後，5日目にドイツから最初のアクセス(のぞき見)
２)その後多様な国からアクセス(のぞき見)が観測・最長で4分超
３)**映像内のID/パスワード**を利用したアクセスも検知
　→プログラムではなく人間が実際に映像を目視確認している



おとりカメラへのアクセス（Insecam掲載後）

- Insecam掲載（2/9）後にアクセスが急増（数千倍のアクセス頻度、9,163ホストからアクセスを観測）
- 8割以上が日本からのアクセス



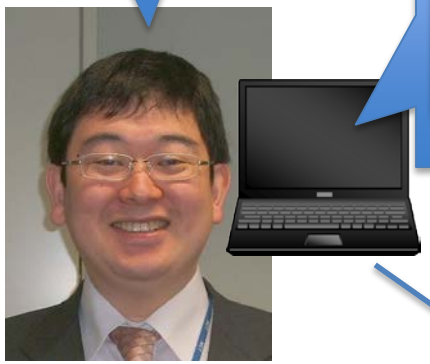


Insecamへの掲載が設定不備カメラ問題を助長し、一日4000件以上の“のぞき見”が発生

IOT機器の
WEBインターフェイスの
アクセス制御の状況

ある地方出張で…

このルータの設定画面（Webインターフェイス）って見えるかな？



みえた！

Welcome to
〇〇WIFIルータ

ID
Password

横浜国大

みえますよ！

Welcome to
〇〇WIFIルータ

ID
Password

無料WIFIルータ

SIM

市内行きシャトルバス

INTERNET

モバイル
キャリアNW

とある地方空港

ある地方出張で…

この空港シャトルバスのWIFIルータは
１）設定画面に世界中からアクセス可能
２）設定画面からルータ型番特定可能
３）ルータ型番からオンラインマニュアル取得可能
４）オンラインマニュアルにはデフォルトID／PASS記載
→世界中から設定変更される恐れあり
→キャッシュDNS設定を変えられたら乗客のアクセス先が漏えい、フィッシングも可能（ダークホテルならぬ、ダークバス？）

インターネット側からWebインターフェイスにアクセス可能な機器等の調査

国内アドレスレンジにおいて

１）ミシガン大学のCensysを利用した調査

２）独自の探索による調査

を実施し、インターネット側からWebインターフェイスにアクセス可能な機器やシステムを特定

調査の結果わかったこと

Telnetだけでなく、多くのIoT機器のWebインターフェイス（設定、操作画面）に以下の問題が存在

- デフォルトでグローバルからアクセス可能（ただし、意図して公開している可能性もある）
- 認証が弱い（ユーザ名固定、パスワード空間が狭い）、またはそもそも認証が要らない
- デフォルトID／PASSが調査可能
  （意図して公開しているのでなければ、デフォルトのままの可能性も十分考えられる）

対策について

デバイス大量感染の元凶はTelnet

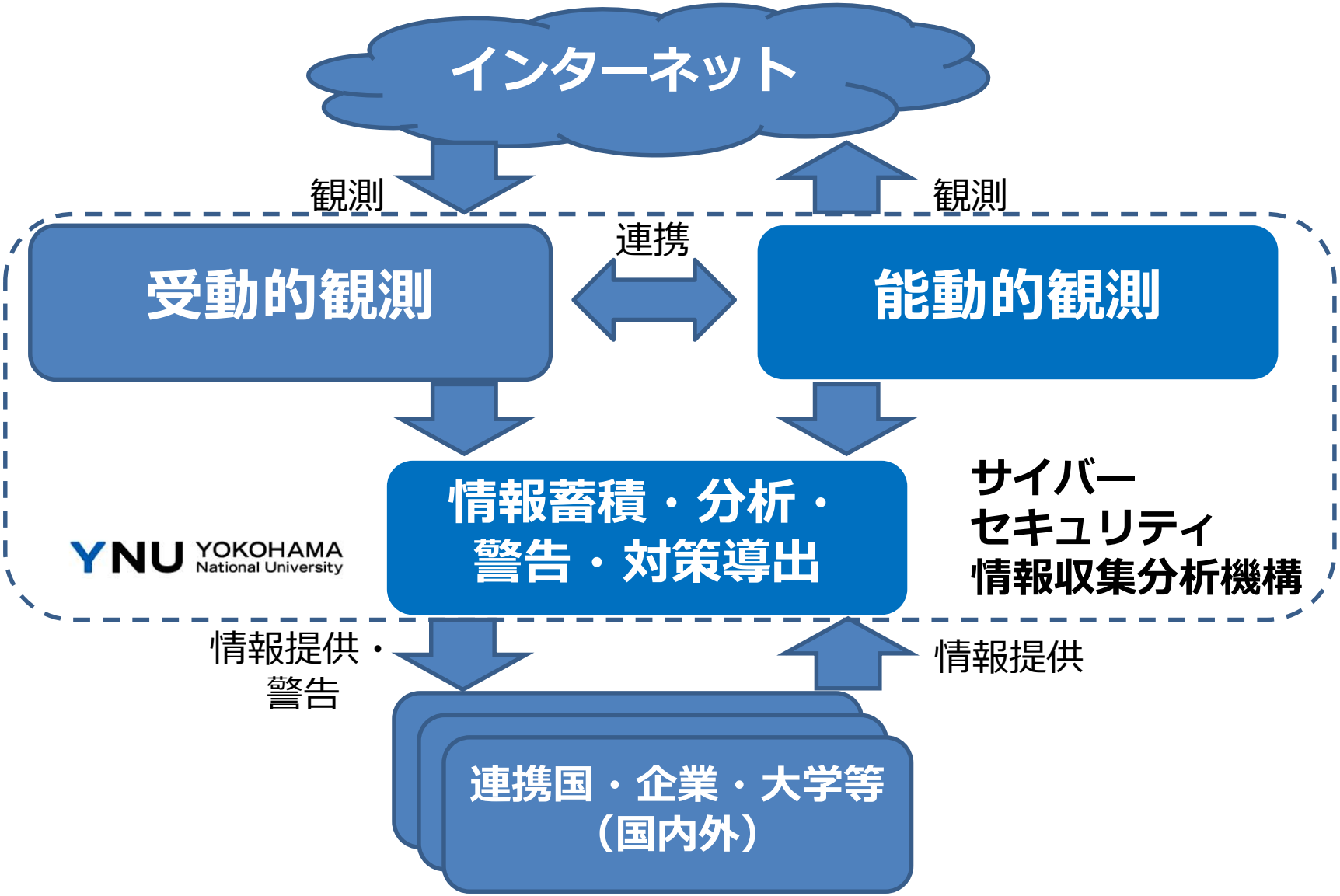
多様なはずのIoTデバイスが
Telnetという共通のセキュリティ問題を
共有してしまっている

＜現状のギャップ＞
・製造者側・利用者側は認識していない

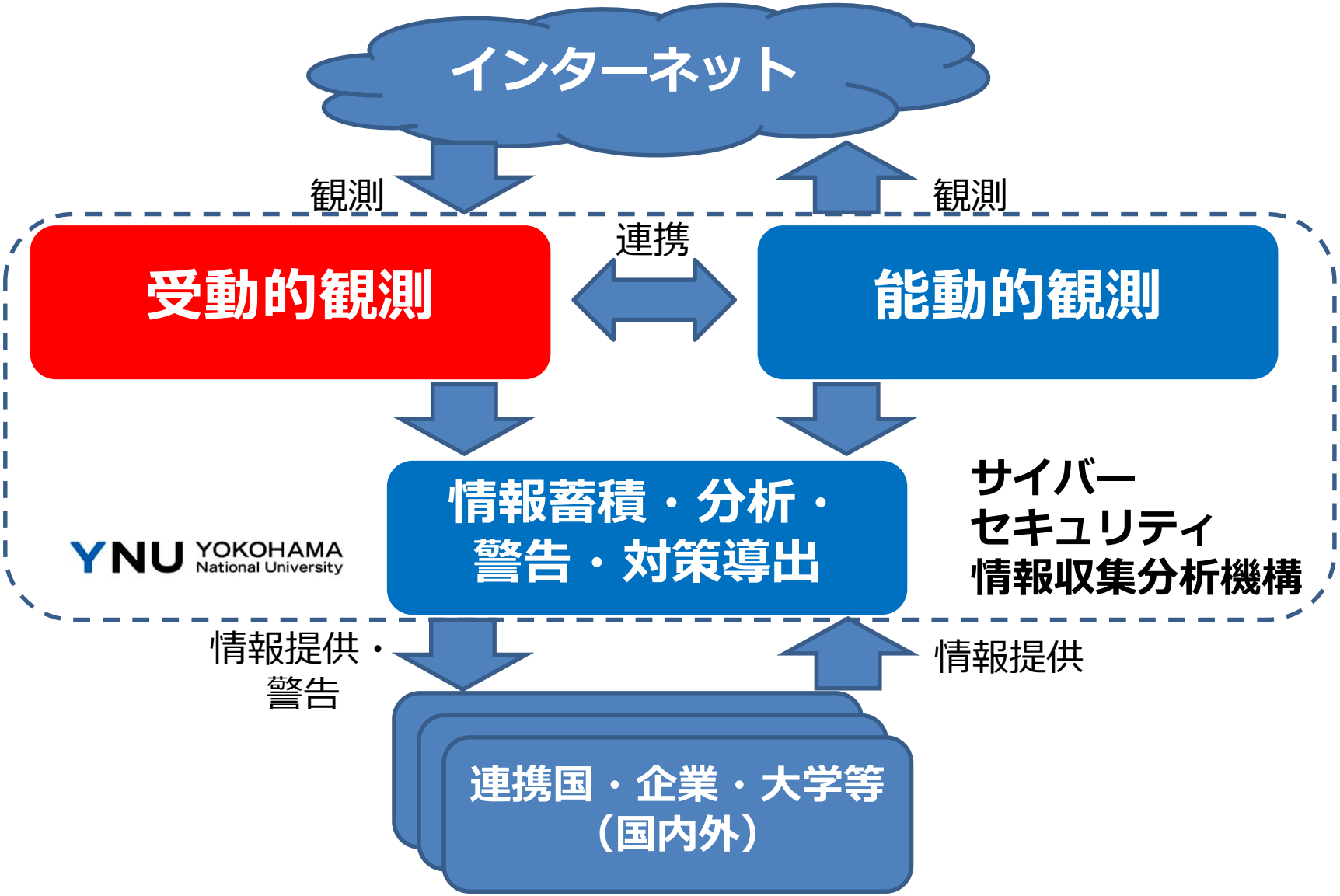
・　攻撃者側は認識している
（ネットワーク攻撃の5割以上がTelnet）

脆弱機器・感染状況・脅威の変遷の
正確な把握・情報提供が必要

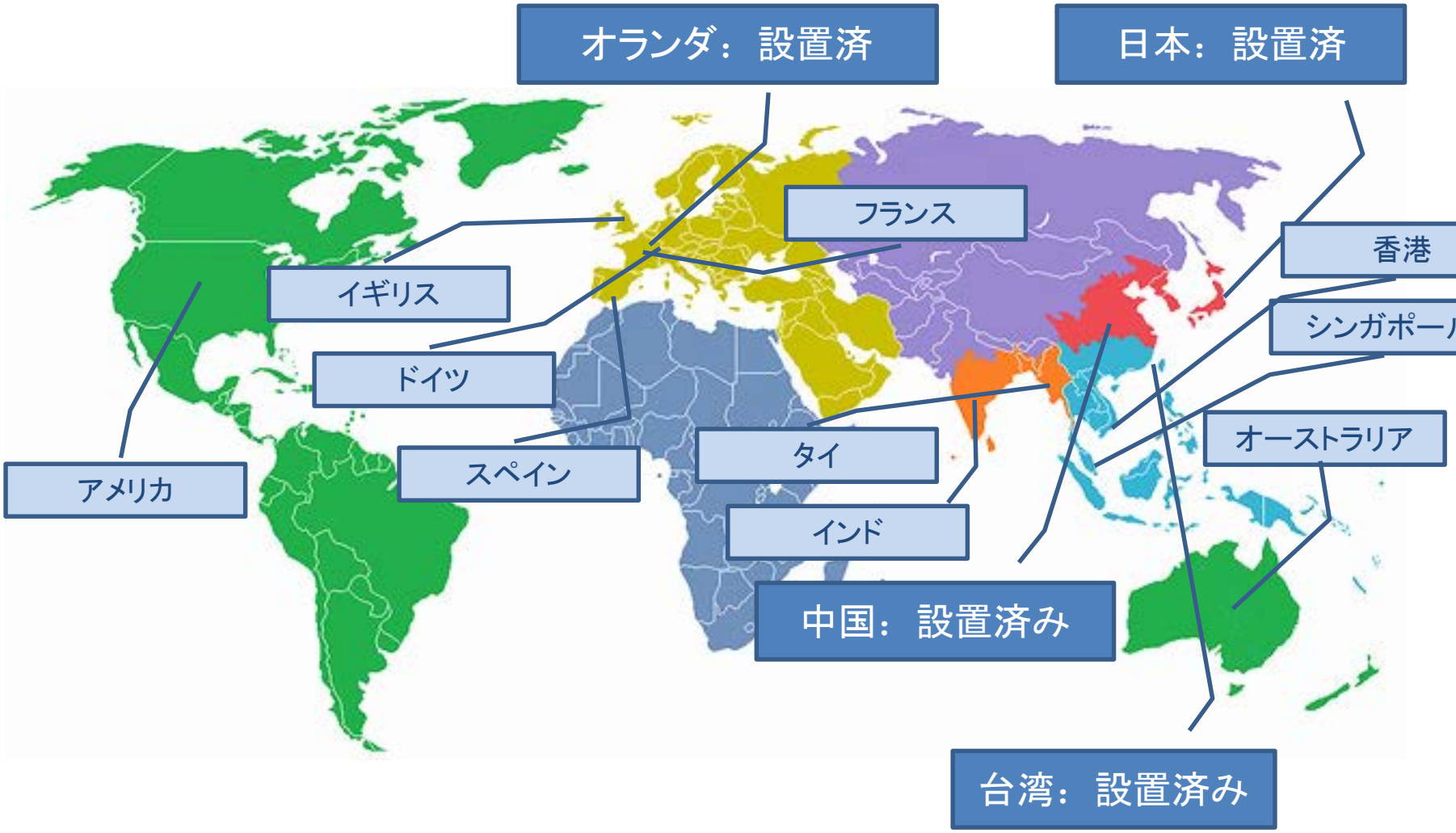
能動的観測と受動的観測を融合させた サイバーセキュリティ情報収集分析機構



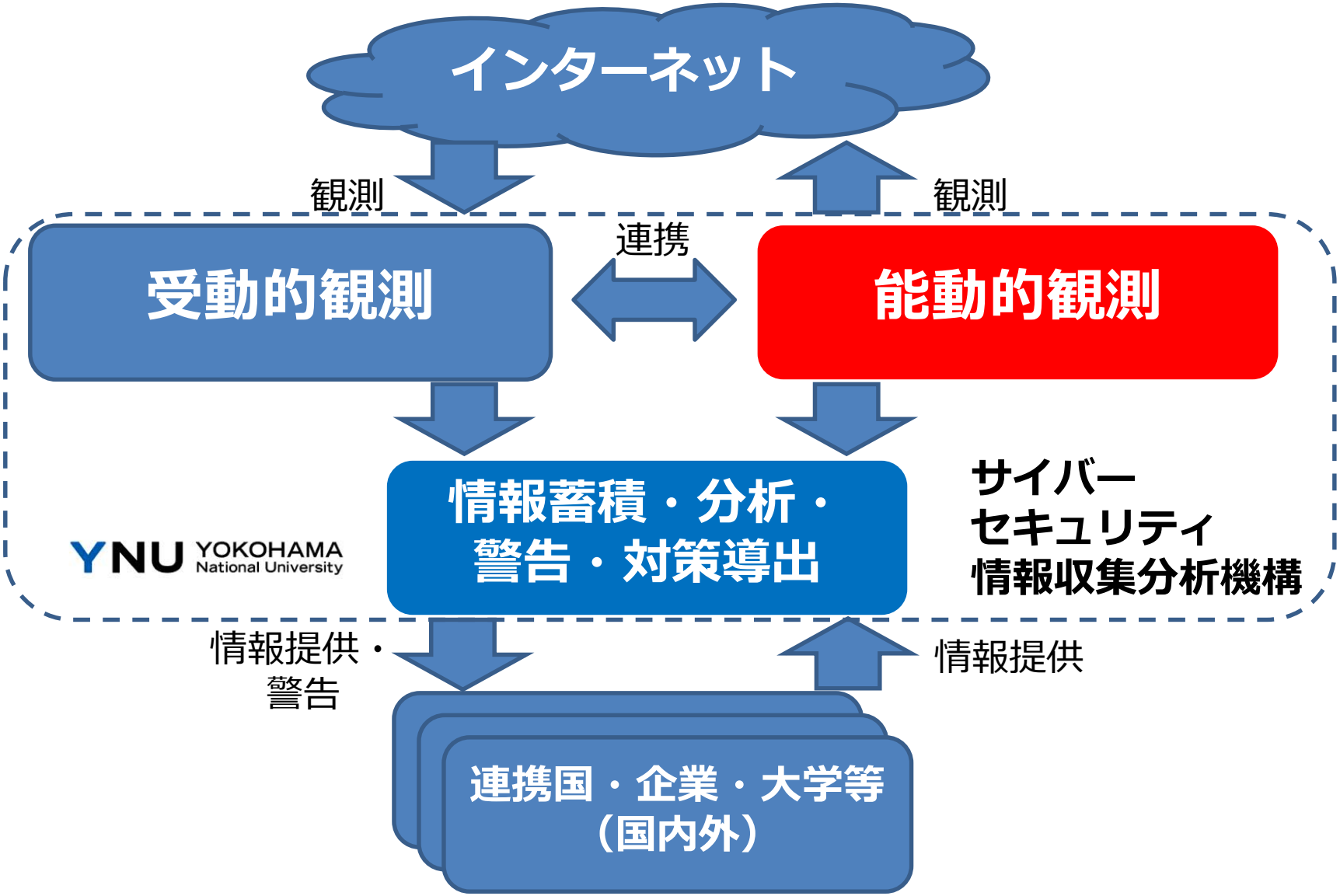
能動的観測と受動的観測を融合させた サイバーセキュリティ情報収集分析機構



観測地点（国）の拡大


オランダ：設置済
日本：設置済
フランス
香港
イギリス
シンガポール
ドイツ
オーストラリア
タイ
スペイン
アメリカ
インド
中国：設置済み
台湾：設置済み

能動的観測と受動的観測を融合させた サイバーセキュリティ情報収集分析機構



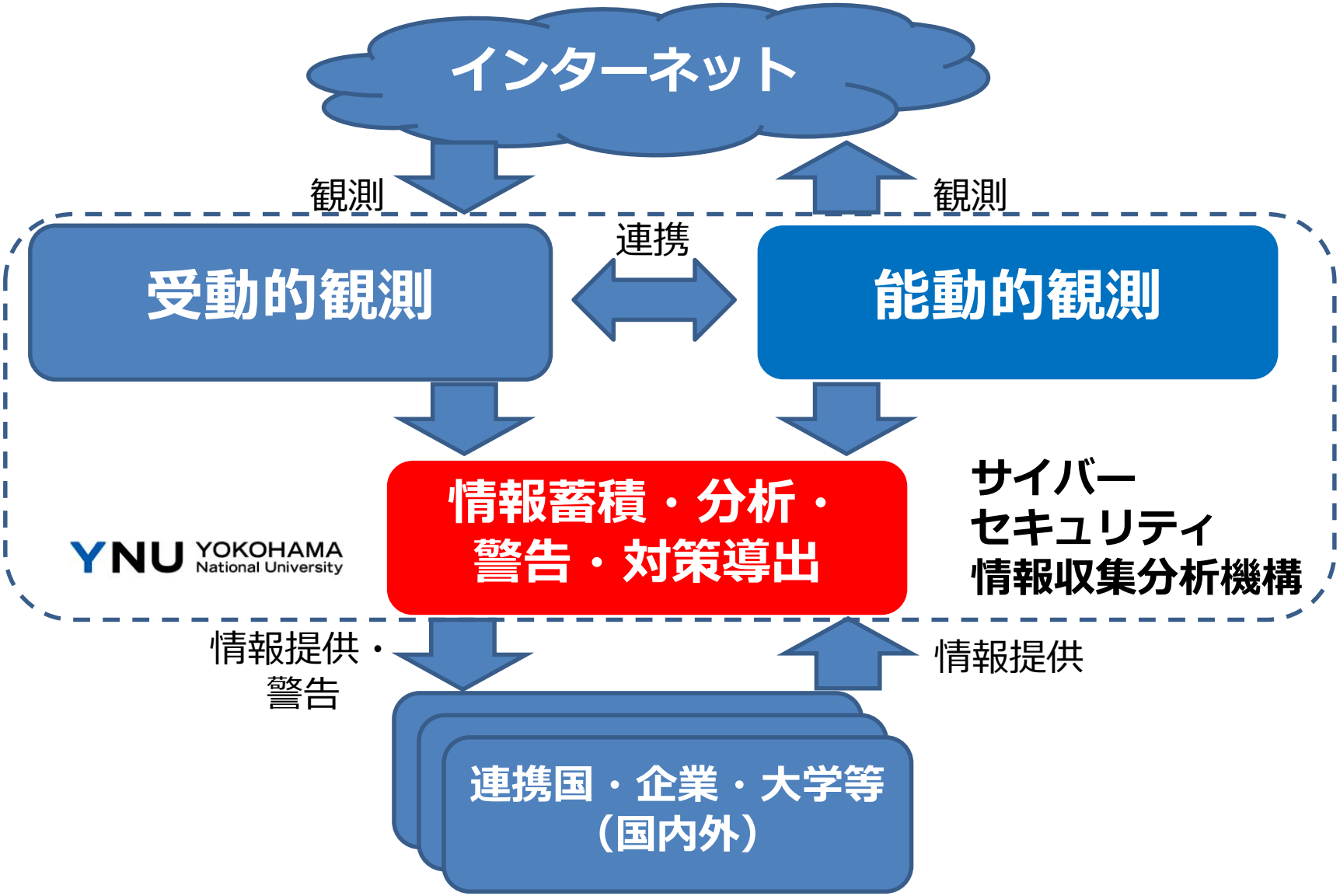
能動的観測の高度化

- 攻撃元機器・システムの種別（メーカ、型番など）を特定する精度の向上
  - オランダ　デルフト工科大と連携
    - 新たな感染機器（医療機器等）の発見
    - 個々の機器を判別する技術の開発（IPアドレスが変更しても感染機器の追跡調査が可能）

- 大規模な能動的観測を行っているCenSys、Shodanのデータ利用を検討中

- ローカル調査も実施

能動的観測と受動的観測を融合させた サイバーセキュリティ情報収集分析機構



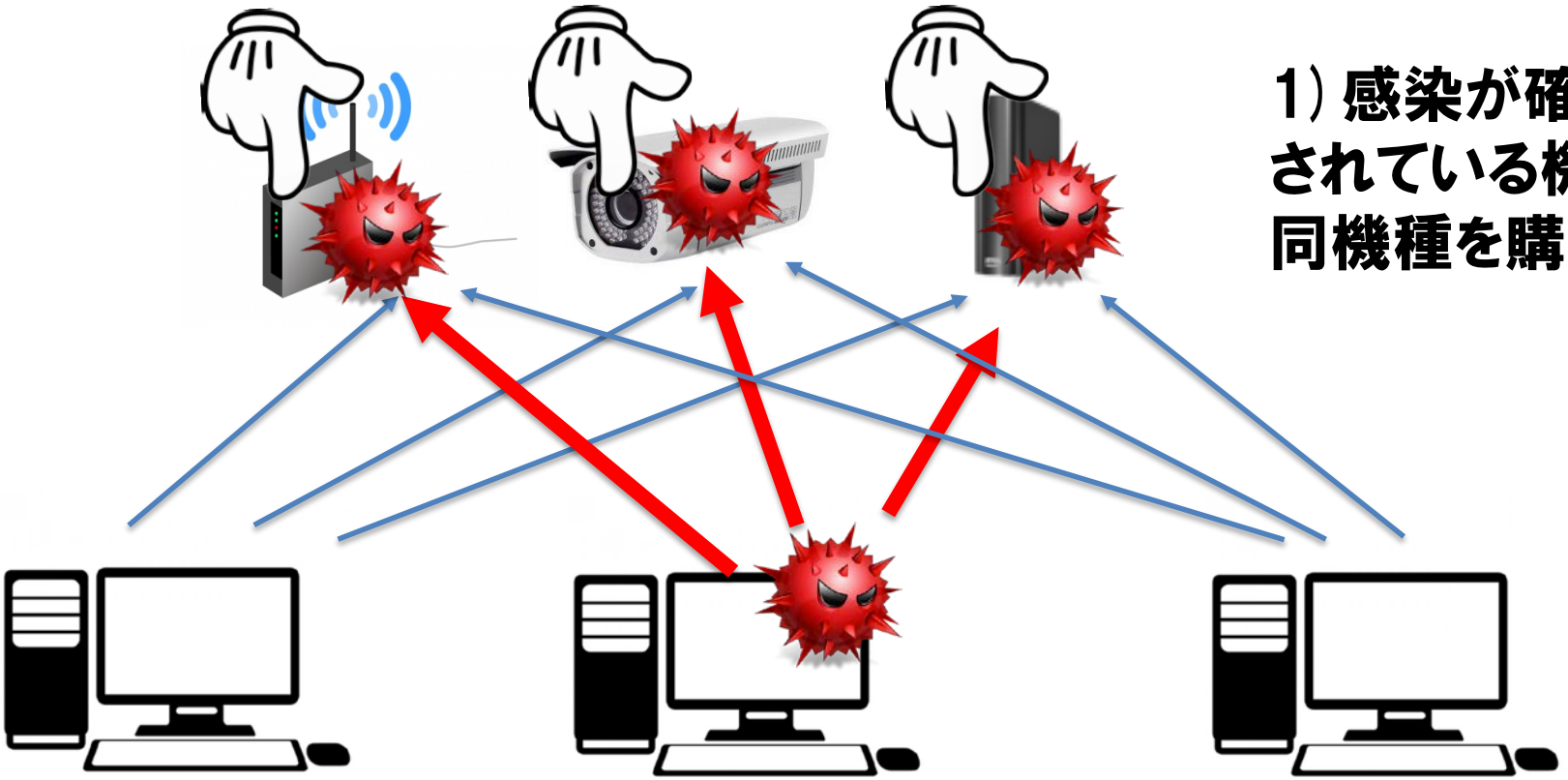
情報蓄積・分析・警告・対策導出機能の高度化

- 情報蓄積・検索能力の向上
  - ビッグデータ分析技術の導入
- 分析技術の向上
  - マルウェア動的解析・静的解析
  - ソフトウェア・ファームウェア脆弱性分析
- 警告・通報
  - 感染機器情報の提供

    JPCERT/CC, 内閣サイバーセキュリティセンター, 各国CERT, メーカ
- 対策導出
  - マルウェア機能無効化、駆除、パッチ、IoT向けペネトレーションツールの開発

IoTマルウェア駆除実験

4) 電源切、コマンドによるシステムリブート、工場出荷状態に戻す、など**操作**を実施



1) 感染が確認されている機器と同機種を購入

2) 通常使用時のファイルシステム、プロセスを記録

3) 実IoTマルウェアで攻撃、感染の確認 (C2通信など)

5) 感染前と比較して感染状態が修復されているか確認

駆除実験使用機器

機器名	種類	メーカ国	Telnet ID/password	CPU アーキテクチャ
A	IPカメラ	台湾	admin/********** （管理者権限）	ARM
B	プリンター	アメリカ	itadmin/**** admin/**** user/**** （全てユーザ権限）	ARM
C	ルータ	台湾	admin/**** （管理者権限）	MIPS
D	Wi-Fiストレージ	日本	admin/**** （ユーザ権限） root/******** （管理者権限）	MIPSEL
E	Wi-Fiストレージ	日本	admin/**** （ユーザ権限） root/******** （管理者権限）	MIPSEL
F	Wi-Fiストレージ	アメリカ	admin/**** （ユーザ権限） root/******** （管理者権限）	MIPSEL
G	衛星放送受信機	ドイツ	認証なし	SH

駆除実験結果

	コマンドによるシステム再起動	主電源による再起動	工場出荷状態の復元
IPカメラA（ARM）	10/10	10/10	10/10 *
プリンターB（ARM）	8/8 ただしマルウェアファイルは削除されない	8/8 ただしマルウェアファイルは削除されない	8/8 *
ルータC（MIPS）	12/12	12/12	12/12 *
Wi-Fiストレージ D（MIPSEL）			11/11 *
Wi-Fiストレージ E（MIPSEL）			
Wi-Fiストレージ F（MIPSEL）		12/12	12/12 *
衛星放送受信機G(SH)	6/8		

他のファイルシステムは感染前の状態に戻り
悪性プロセスと通信攻撃が停止したため駆除成功とみなした

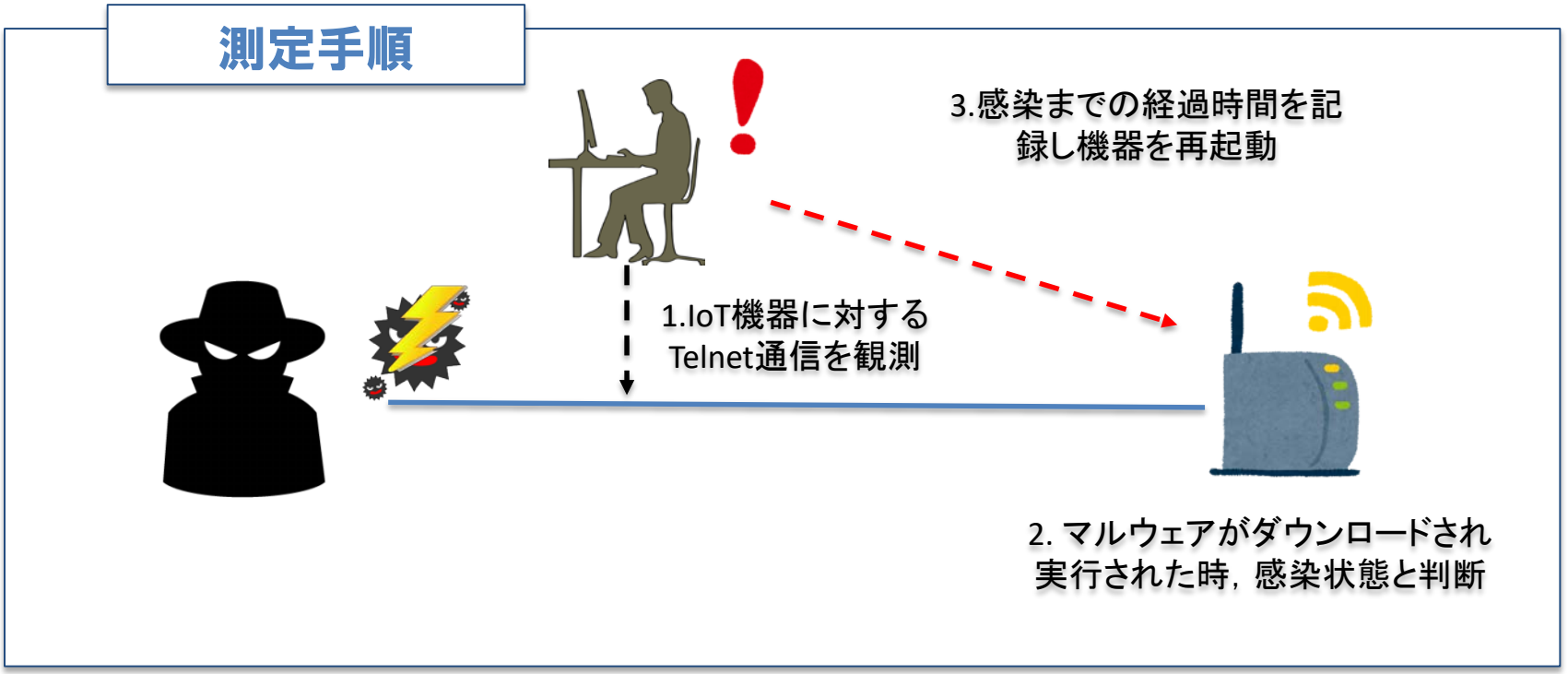
rebootコマンドが正常に動作せず

2つの検体では、感染後Telnetログインが不可となったため駆除できず

いずれの機器でも主電源による再起動と
工場出荷状態の復元の操作によりマルウェア駆除が可能
特に主電源による再起動では機器設定を
初期状態に戻すことなく駆除が可能であった

駆除後の再感染時間の測定

- マルウェア駆除後、感染原因を改善しなければ容易に再感染する恐れがある
- そこで駆除実験後，各機器をインターネットに接続し再びマルウェアに感染するまでの時間を観測した



感染時間観測結果

	1回目	2回目	3回目	平均
IPカメラA	48時間経過しても感染せず	← Telnet認証に3回失敗すると30分ログイン不可となる機器の機能による影響だと考えられる		
プリンターB	15分24秒	16分40秒	24分57秒	19分0秒
ルータC	38秒	3分55秒	58秒	1分50秒
Wi-Fiストレージ D	30分1秒	8分14秒	5分30秒	14分35秒
Wi-Fiストレージ E	18分59秒	73分3秒	49分25秒	47分9秒
Wi-Fiストレージ F	8分	57分49秒	47分22秒	37分47秒
衛星放送受信機G	1分46秒	5分59秒	9分	5分35秒

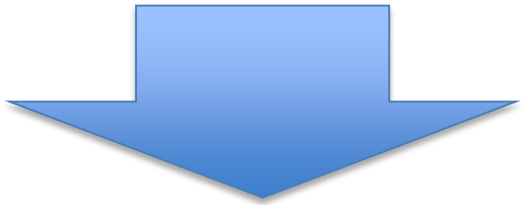
IPカメラAを除く6種類の機器では最短で38秒、最長でも73分で感染した

また，3回の測定の平均をとるとすべて1時間以内であり対策を講じていない機器では短時間で感染してしまうことがわかった

感染防止手法の提案

対策をしていないIoT機器では
駆除を行っても短時間で
再感染してしまう

感染の原因の1つは
Telnetを利用した攻撃



不正Telnetログインを阻止することで
機器の再感染を防止する手法を提案する

不正Telnetログイン防止手法

- 以下の3つの設定変更により不正Telnetログインを防止する
  - パスワードの変更
  - iptablesの設定変更による23/tcp通信の拒否
  - Telnetdプロセスの停止
- この3手法がIoT機器に対して実施可能であるか実機を用いて調査を行った

不正Telnetログイン防止手法実施結

	パスワード変更	iptablesの設定変更による23/tcp通信の拒否	Telnetdプロセスの停止
IPカメラA	× コマンド無し	× コマンド無し	○
プリンターB	○	× コマンド無し	× rootユーザでないため，プロセスを停止できない
ルータC	× コマンド無し	○	× Telnetdプロセス停止後，即時プロセスが復帰する
Wi-Fiストレージ D	○	○	○
Wi-Fiストレージ E	○	○	○
Wi-Fiストレージ F	○	○	○
衛星放送受信機G	× コマンド動作しない	× コマンド無し	○

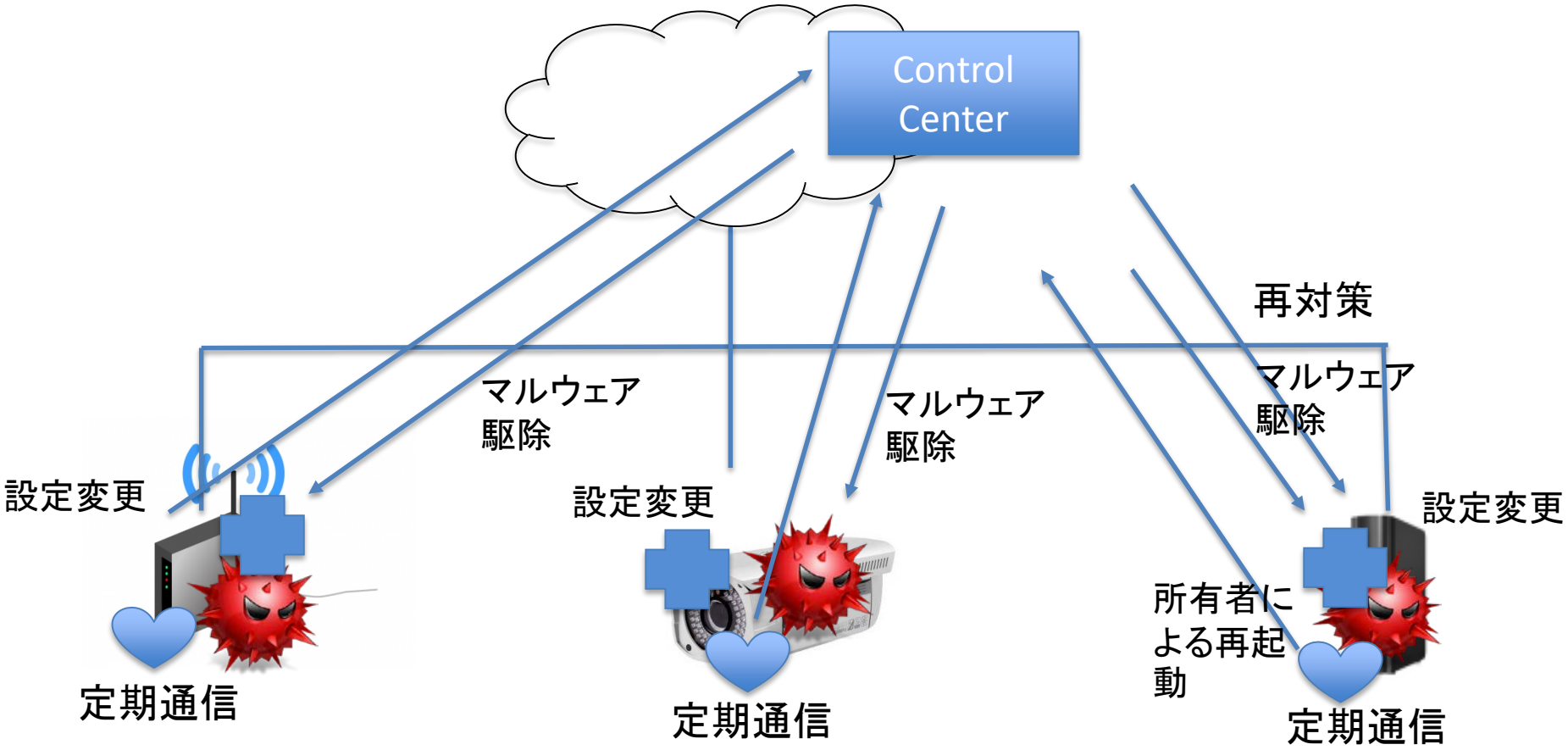
○:実施可能 ×:実施不可能

実験に使用した機器では上記の3つの手法の内少なくとも1つは実施可能であった

しかし，これらの設定変更は機器を再起動すると消去され対策前に戻ってしまった

IoT機器の再起動を検知する方法

- 再起動を感知するためのkeep-alive通信を行うモジュールをIoT機器に追加する



不正Telnetログイン防止手法評価実験

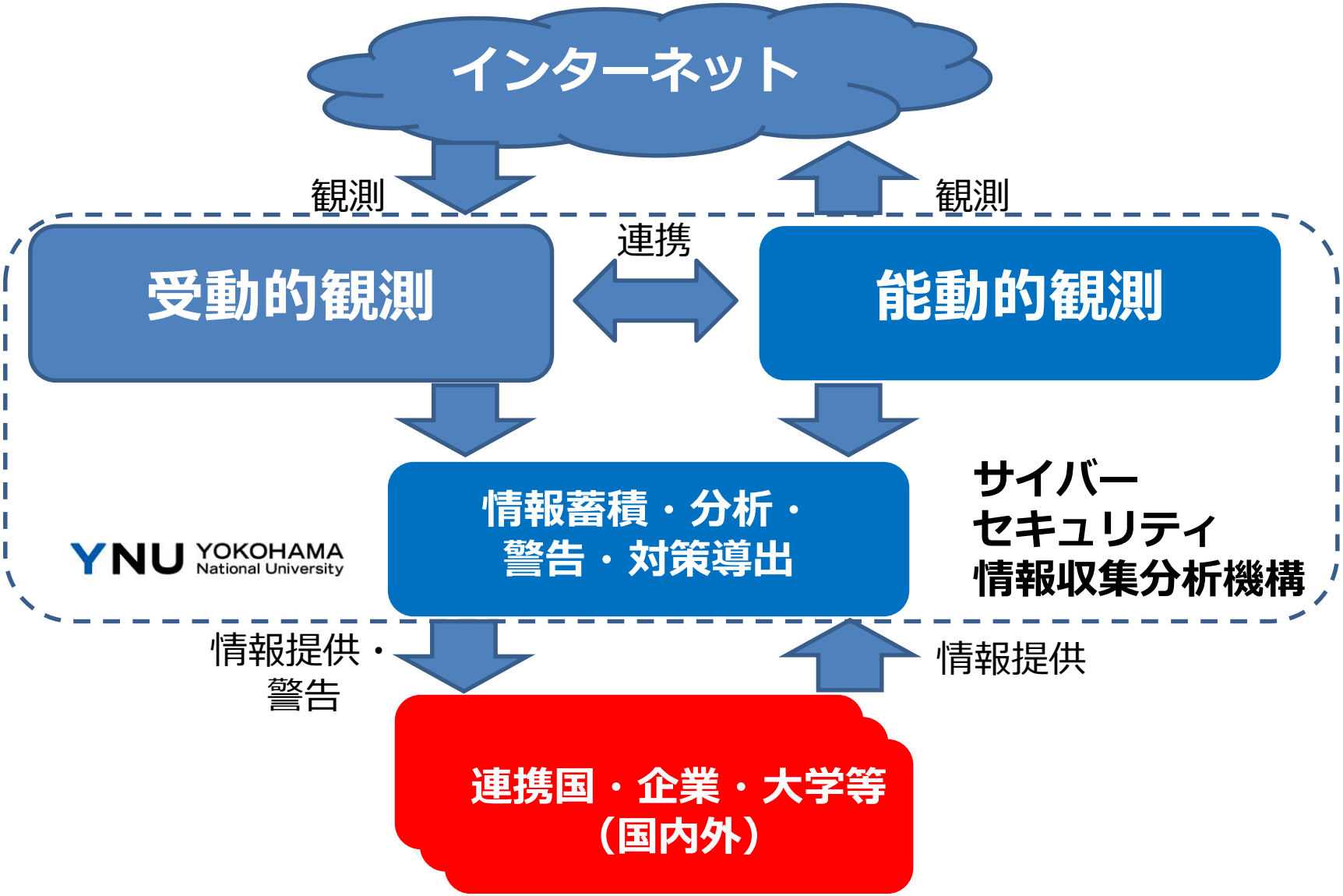
- 不正Telnetログイン防止手法の有効性を検証するため以下の実験を行った

- 実験方法
  - 不正Telnetログイン防止手法による対策を施した機器をインターネットに接続し機器と外部の通信を観測する
  - 通信内容から不正ログインがないかチェックする
  - 観測期間は48時間とした

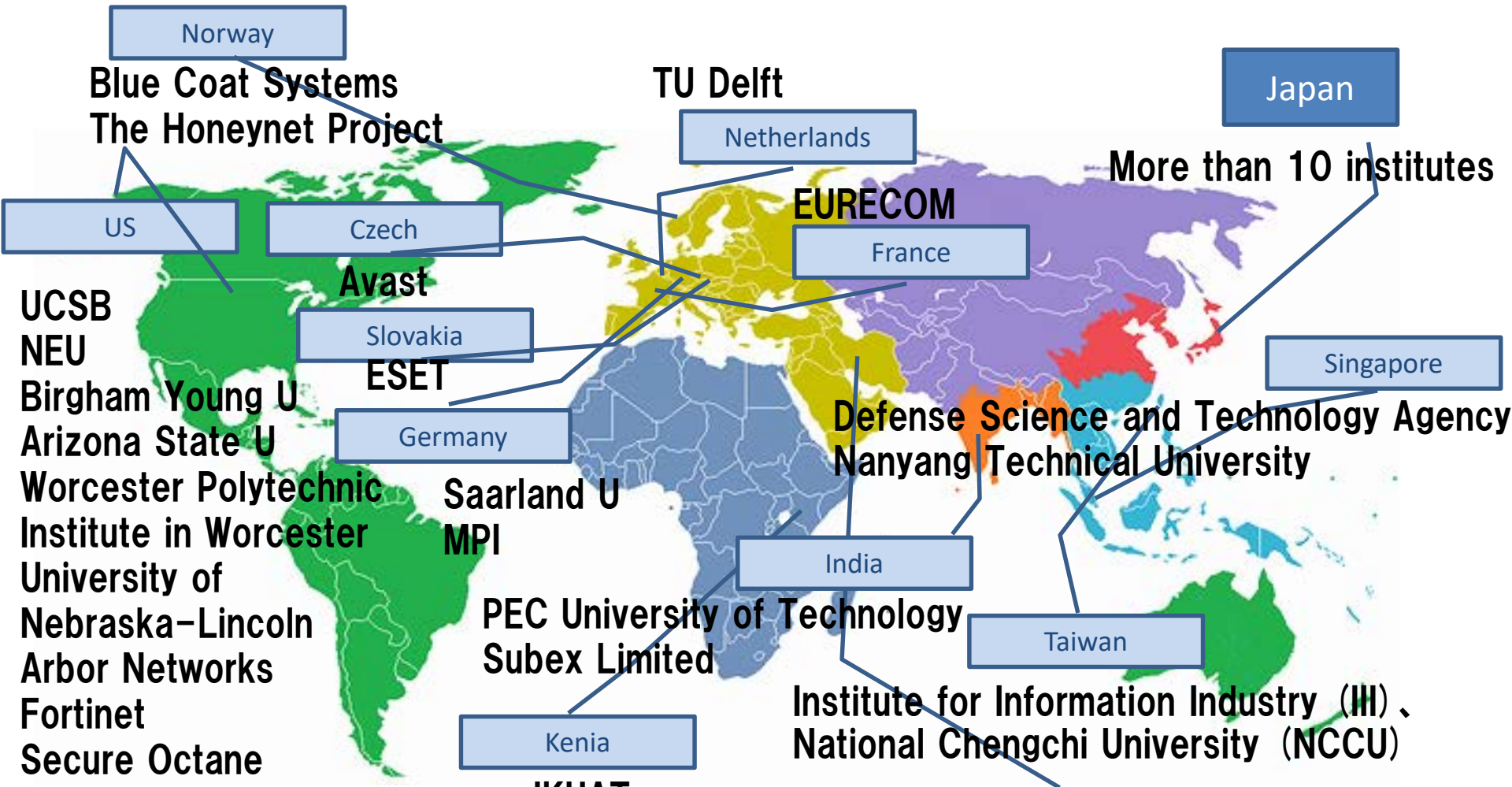
評価実験結果

- 7種類いずれの機器においてもTelnetログインに成功した攻撃者はおらず，感染は確認されなかった
- このことから我々の提案する感染防止手法はファームウェアによる根本的な対策ができない機器への応急的措置として有効であると言える

能動的観測と受動的観測を融合させた サイバーセキュリティ情報収集分析機構



観測情報を世界40以上の研究組織セキュリティ企業に提供中



紹介事例からわかること

機器個別の対策は技術的に容易

Telnetを出荷前・設置前・使用前に止める
ID/PASSWORD設定を徹底
脆弱性修正とファームウェア更新

対策の徹底は困難（運用の問題）

製造者・設置者・利用者が多様な分野・地域に分散
個体数が多い、販売後追跡が困難
強制ファームウェア更新が不可能、寿命が長い
攻撃を助長する恐れのある行き過ぎた情報共有
（Shodan, Insecamなど）

まとめ

- IoT機器の大量感染が深刻化しており、マルウェア感染した機器を悪用した大規模サービス妨害攻撃が顕在化している
- 大規模マルウェア感染だけでなく、設定画面のアクセス制御などもずさんな機器が多い
- 実施の容易なグローバルからの攻撃だけでなく、ローカルからのIoT水飲み場攻撃（標的型攻撃）に悪用される恐れもある
- IoT特有の産業構造（多様な製造者）や実情（膨大な機器、管理不可能性、長寿命）から上記の傾向がメーカの自助努力のみで現状が自然回復（改善）するとは考えにくい
- マルウェア感染や、脆弱性を有するIoT機器の現状を正確に把握し、実効的な対策を行うための体制づくりが急務